

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR



TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

ANÁLISIS DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO HÍBRIDO

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA

Autor: CARLOS GARROTE MERCUENDE

Tutor: VICENTE SALAS MERINO

ÍNDICE

OBJETIVOS	7
1. INTRODUCCIÓN	8
1.1 Estructura	8
2. ENERGÍAS RENOVABLES.....	10
2.1 Energía solar.....	10
2.1.1 Recurso solar.....	10
2.1.2. Energía solar fotovoltaica.....	11
2.1.3. Energía solar térmica.....	17
2.2 Energía eólica:.....	25
2.1.1. Aerogeneradores:	26
2.1.2. Aero bombas:	28
2.3 Energía hidráulica:	29
2.3.1. Hidráulica convencional.....	30
2.3.2. Centrales de bombeo	30
2.3.3. Centrales mareomotrices	31
2.3.4. Turbinas hidráulicas	32
2.4 Energía geotérmica.....	33
2.5 Energía biomasa	34
3. SISTEMAS HÍBRIDOS.....	35
3.1 Introducción	35
3.2 Configuraciones	37
3.3 Sistemas híbridos aislados con regulador de carga	39
3.4 Sistemas híbridos aislados con inversor bidireccional	41
3.5 Sistemas híbridos aislados mixtos.....	42
3.6 Sistemas híbridos aislados con inversor híbrido	43
3.7 Descripción de elementos de sistemas híbridos	44
3.7.1. Inversores	45
3.7.2. Sistemas de acumulación. Baterías	48
3.7.3. Sistemas de apoyo de combustible fósil:.....	54
4. DIMENSIONADO SISTEMA HÍBRIDO	54
4.1 Irradiación	55
4.2 Demanda	56

4.3	Componentes de la instalación.....	57
4.4.1.	Paneles fotovoltaicos.....	57
4.4.2.	Baterías.....	59
4.4.3.	Inversores	61
4.4.4.	Regulador de carga.....	62
4.4.5.	Generador AC	62
4.4.6.	Restricciones:	63
4.4.7.	Parámetros de optimización y estrategia de control	64
4.4.8.	Datos económicos:	66
5.	RESULTADOS SIMULACIÓN.....	67
5.1	Caso 1: Paneles fotovoltaicos + sistema de acumulación	68
5.1.1.	Componentes.....	68
5.1.2.	Resultados del dimensionado	74
5.2	Caso 2: Generador combustible fósil	79
5.2.1.	Componentes.....	80
5.3	Caso 3: Paneles fotovoltaicos + Baterías + Generador diésel	84
5.3.1.	Componentes.....	84
5.3.2.	Resultados del dimensionado	85
6.	RESULTADOS Y CONCLUSIONES:	90
6.1	Componentes.....	90
6.2	Resultados energéticos	91
6.3	Resultados económicos	92
7.	CRONOGRAMA:.....	94
	ANEXO 1: Tarifa Atersa Agosto 2014.....	95
	ANEXO 2: Informe iHoga Caso 1	97
	ANEXO 3: Informe iHoga Caso 2	99
	ANEXO 4: Informe iHoga Caso 3	101
	ANEXO 5: Presupuesto	103
	BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Generación corriente continua célula solar.....	12
Figura 2.2. Silicio Mono cristalino (Cedido remonsolar.com).....	13
Figura 2.3 Silicio poli cristalino (Cedido remonsolar.com).....	13
Figura 2.4 Silicio amorfo(Cedido remonsolar.com)	13
Figura 2.5 Célula generación fotovoltaica	14
Figura 2.6 Esquema eléctrico célula solar.....	14
Figura 2.7 Panel solar.....	15
Figura 2.8 Estructura panel solar.....	16
Figura 2.9 Curva I-V	16
Figura 2.10 Sistemas de agua caliente.....	18
Figura 2.11 Sistemas de calefacción	19
Figura 2.12 Sistemas de calefacción + refrigeración	20
Figura 2.13 Solar térmica alta temperatura (Cedido www.enrenovables.com).....	21
Figura 2.14 Colector plano (Cedido www.mimacsolar.es).....	23
Figura 2.15 Colector de vacío (Cedido www.mimacsolar.es).....	24
Figura 2.16 Colector parabólico (Cedido cali-vac.megavisos.com.co).....	25
Figura 2.17 Curva potencia aerogenerador	27
Figura 2.18 Central hidráulica convencional (Cedido web Endesa)	30
Figura 2.19 Central hidráulica bombeo (Cedido lanación.com)	31
Figura 2.20 Central hidráulica mareomotriz (Cedido tecnologia-cardones.wikispaces.com).....	32
Figura 3.1 Sistema híbrido con REGULADOR DE CARGA.....	39
Figura 3.2 Sistema híbrido con INVERSOR BIDIRECCIONAL.....	41
Figura 3.3 Sistema híbrido con CONFIGURACIÓN MIXTA	42
Figura 3.4 Sistema híbrido con INVERSOR HÍBRIDO.....	44
Figura 3.5 Inversor fotovoltaico autónomo	46
Figura 3.6 Onda de salida inversores fotovoltaicos	47
Figura 3.7 Curvas carga y descarga batería Pb-Ácido 25 °C (Fuente: revista Homer Power).....	50
Figura 3.8 Curvas carga y descarga batería Pb-Ácido 1°C (Fuente: revista Homer Power).....	51
Figura 4.1 Distribución de demanda diaria	56
Figura 4.2 Curva ciclos-Profundidad descarga (Cedida por Manual iHoga)	61
Figura 5.1 Curva característica ciclos de vida-profundidad de descarga (%)-Energía ciclada (kWh)...	74
Figura 5.2 Curva característica Eficiencia (%)-Potencia de salida (%Pn)	75
Figura 5.3 Gráfica resultados energéticos caso 1	76
Figura 5.4 Valores mensuales y anual de generación. (Extraído iHoga)	77
Figura 5.5 Valores mensuales y anuales de generación. (Extraído iHoga).....	77
Figura 5.6 Gráfica resultados económicos caso 1	79
Figura 5.7 Consumo frente Potencia de salida (kW).....	81
Figura 5.8 Valores mensuales y anuales de generación. (Extraído iHoga).....	82
Figura 5.9 Gráfica resultados económicos caso 2	83
Figura 5.10 Gráfica resultados energéticos caso 3	85
Figura 5.11 Valores mensuales y anuales de generación. (Extraído iHoga).....	86
Figura 5.12 Valores mensuales y anuales de generación. (Extraído iHoga).....	86

Figura 5.13 Resultados energéticos 11 de Enero	87
Figura 5.14 Gráfica resultados económicos caso 3	89
Figura 6.1 Gráfica resultados energéticos	91
Figura 6.2 Gráfica resultados económicos	93
Figura 7.1 Diagrama de Gantt	94

ÍNDICE TABLAS

Tabla 2.1 Rendimiento células fotovoltaicas	14
Tabla 2.2 Clasificación colectores	22
Tabla 4.1 Datos de irradiación por mes de web NASA	55
Tabla 4.2 Distribución demanda diaria	56
Tabla 5.1 Cálculo inclinación óptima (Extraída iHoga).....	68
Tabla 5.2 Hoja características y PVP paneles solares (Cedido web Atersa).....	70
Tabla 5.3 Hoja características baterías tubulares Plomo-ácido abiertas OPZS-Hawker	71
Tabla 5.4 Baterías OPZS-Hawker (Extraída iHoga)	72
Tabla 5.5 . Hoja característica Inversores Steca Solarix (Cedido manual Steca).....	73
Tabla 5.6 Resultados simulación Caso 2.....	81
Tabla 5.7. Resultados económicos Caso 2	82
Tabla 5.8 Resultados simulación Caso 3.....	84
Tabla 5.9 Resultados energéticos simulación Caso 3.....	85
Tabla 5.10 Resultados simulación Caso 3.....	88
Tabla 6.1 Resultados simulaciones	90
Tabla 6.2 Resultados energéticos	91
Tabla 6.3 Resultados económicos	92
Tabla 7.1 Distribución de tiempo para elaboración TFG.....	94



OBJETIVOS

El objetivo del proyecto es el dimensionado de un sistema híbrido para el suministro energético de una instalación aislada en Los Llanos de Caudillo, con una potencia demanda de 9,25 kWh. Con motivo del aislamiento de la instalación se buscará una independencia que asegure la ininterrupción del suministro eléctrico. La finalidad es el estudio del comportamiento energético de la instalación en función de los elementos de generación empleados respetando siempre una energía no servida del 0%. Además se generarán los distintos estudios económicos correspondientes a cada una de las soluciones para, finalmente, realizar una comparativa tanto energética como económica.

Para comprender el funcionamiento de instalación aislada que utilice un sistema híbrido de generación compuesto por paneles + baterías + generador diésel se realizarán dos casos complementarios, uno de ellos en el que el único generador sea diésel y otro compuesto por paneles fotovoltaicos + baterías. De este modo, se podrá observar el comportamiento energético de cada uno de los casos desarrollados y se buscará una rentabilidad económica plausible que se acerque al máximo al estudio de una instalación real.

De la realización de cada caso se obtendrán dos tipos de resultados, unos energéticos y otros económicos. Si se tiene en cuenta que tanto las restricciones del sistema, como los datos energéticos de consumo introducidos y de irradiación del emplazamiento se mantienen constantes, se puede analizar el comportamiento de los elementos de generación implementados para cada uno de los casos.

Finalmente con la obtención de los resultados se realizará una comparativa de los tres casos, tanto energética observando el peso en la generación de cada uno de los elementos que componen la instalación, como económica desglosando los costes totales por cada componente.

La finalidad es observar el desarrollo y la importancia de la combinación de elementos de generación para el abastecimiento energético de zonas aisladas, desde el punto de vista energético y económico, situándolos como una alternativa real al suministro por parte de la red de distribución.

1. INTRODUCCIÓN

Las energías renovables son la alternativa de generación utilizando fuentes naturales e inagotables de generación. Del su estudio y desarrollo han surgido distintas configuraciones e instalaciones que ofrecen alternativas a las generaciones convencionales de las que se hablarán a lo largo del proyecto. El cometido principal del trabajo es mostrar el funcionamiento que utilizan las instalaciones con combinación de distintos métodos de generación para el suministro de energía en emplazamientos exentos de red de distribución. No sólo se busca un estudio energético sino la rentabilidad real de estos frente al suministro tradicional.

Para conseguirlo es importante situarse el marco de evolución de las tecnologías que hacen uso de energías renovables para la generación de energía eléctrica. Los casos de estudio estarán centrados en configuraciones con generación fotovoltaica, lo que centrará la fijación del trabajo principalmente en esta tecnología y sus elementos.

Las energías renovables tienen justificado su crecimiento con el respecto al medio ambiente con unas emisiones de CO₂ muy inferiores a otros métodos de generación y en algunos casos casi nulas. La creciente implicación social con los efectos causados durante las últimas décadas sobre el medio ambiente está influyendo poco a poco en las limitaciones y prohibiciones en algunos ámbitos de generación y su trato de residuos.

1.1 Estructura

Durante el capítulo 2 se describen las energías renovables, haciendo hincapié principalmente en las energías que utilizan directamente la radiación solar para la generación. Serán descritas las principales tecnologías y materiales utilizados para ello, y algunas de las configuraciones más manipuladas tanto en la generación fotovoltaica como en energía solar térmica que, sin ánimo de entrar en mucho detalle por su posterior disolución en el dimensionado, su interés tanto presente como futuro ha propiciado un mayor peso del esperado en el desarrollo del trabajo.

Posteriormente, en el capítulo 3, se estudiarán los sistemas híbridos como alternativa de generación, situándolos en el marco socioeconómico en el que surgen y sus configuraciones y

componentes. En primer lugar, se desglosarán las disposiciones más empleadas con distintos elementos de gestión y control de la energía. Para finalizar el capítulo se analizarán los elementos que hasta el momento no se hayan mencionado, inversores, sistemas de acumulación y sistemas de generación, debido a que los paneles fotovoltaicos han sido ya señalados durante el capítulo 2 y el regulador de carga a lo largo del subcapítulo 3.3 “Sistema híbridos con regulador de carga”.

En el capítulo 4, a modo de introducción a la herramienta, se detallarán las posibilidades que ofrece iHoga en el dimensionado de instalaciones, así como introduciendo alguno de los parámetros que se mantendrán fijos a la hora de las simulaciones, como la irradiación o la distribución de la demanda. Además se describirán las posibles variantes en elementos como restricciones o parámetros de control y optimización.

El cuerpo del proyecto se detallará a lo largo del capítulo 5, es decir, la simulación de los tres casos de estudio para su posterior comparación. En primer lugar, se analizará un sistema que conste de un sistema de generación formado por paneles fotovoltaicos con un medio de almacenamiento energético compuesto por baterías. Posteriormente, a modo de comparativa, se ejecutará el mismo sistema utilizando únicamente un sistema de generación con combustible fósil. Y por último, se realizará la elaboración de una instalación con paneles fotovoltaicos, con un sistema de almacenamiento energético adjuntado un sistema de generación de apoyo de combustible fósil.

Para finalizar, es necesario comparar los resultados energéticos de cada una de las configuraciones, así como los resultados económicos justificando en cada uno de los casos los motivos de estos.

2. ENERGÍAS RENOVABLES

Se definen las energías renovables como aquellas que se obtienen de fuentes naturales y virtualmente inagotables. Entre ellas se definen la energía solar, eólica, hidráulica, solar térmica, termo solar, energías del mar y geotérmica. Cada una de ellas tiene como sustento distintos recursos naturales, todos ellos fuertemente vinculados a la energía proporcionada por el sol a la corteza terrestre.

2.1 Energía solar

Aunque todas las energías renovables tienen su origen en la energía producida por el sol, se denominan de energía solar a aquellas tecnologías que utilizan directamente la radiación solar. El resultado de la transformación de esta energía subdivide a esta tecnología principalmente en dos categorías, aquellas que la transforman en energía eléctrica y aquellas que la transforman en energía térmica.

2.1.1 *Recurso solar*

El sol es un recurso con una vida de aproximadamente 5000 millones de años. Este astro genera una energía mediante reacciones nucleares en su núcleo. De acuerdo con la teoría de la relatividad desarrollada por Einstein, $E = m \cdot c^2$, siendo E energía liberada cuando desaparece la masa m a la velocidad de la luz (c), se podría decir que la esta energía tiene un valor de $3,8 \cdot 10^{26} W$. Esto equivale aproximadamente a 62,5 MW por cada metro cuadrado de superficie solar de la que cerca de un 2 % alcanza la superficie terrestre. A parte de la distancia que los separa, una fracción de esta radiación es devuelta a espacio por reflexión.

La potencia de radiación que se obtiene se denomina irradiancia. Varía en función de la latitud y las condiciones climatológicas, además de la masa de aire que tenga que atravesar que cambia según momento del día y época del año.

La cantidad de energía que se obtienen de la radiación del sol es procedente de tres componentes:

- Radiación directa (β): los rayos entran en la superficie terrestre sin ser dispersados. La energía procedente de estos depende del ángulo de incidencia sobre la superficie.

Su valor máximo se encuentra en la perpendicular, reduciendo la energía proporcionada a medida que lo hace el ángulo.

- Radiación difusa (D): es aquella que ha sido dispersada durante el camino del sol a la Tierra.
- Radiación de albedo (R): es la que reflexionan todos los objetos, seres vivos o componentes el entorno. Esta radiación depende mucho de la naturaleza de los elementos.

2.1.2. Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica consigue la transformación a energía eléctrica con el uso de células solares fabricadas con un material semiconductor, en la gran mayoría de los casos silicio. Este lo obtiene mediante la transmisión de la energía de los fotones a los electrones del semiconductor. La producción de electricidad individualmente de cada celda será muy pequeña, por ello, su combinación en paneles dará como resultado que sus aplicaciones vayan desde pequeños consumos hasta grandes plantas de producción.

Los paneles o células solares utilizan el recurso solar para generar energía. La tecnología consiste en la incidencia del sol sobre materiales semiconductores. Los fotones transmiten su energía a los electrones de valencia del semiconductor, estos rompen el enlace que les liga al átomo de modo que circularán libremente por el sólido. Este desplazamiento del electrón dejará un vacío en el enlace denominado hueco, que al igual que este, circulará por el sólido. El movimiento en direcciones opuestas genera una corriente eléctrica en el semiconductor. Para evitar el restablecimiento del enlace entre electrón y hueco se debe utilizar un campo eléctrico para asegurar la circulación en direcciones opuestas. Este campo eléctrico se conseguirá mediante la unión de dos regiones de un cristal semiconductor de distinta conductividad. En el caso de que el material semiconductor sea el Silicio, el caso más común, una de las regiones denominada tipo p será dopada con Fósforo, región cargada de electrones (Mayor valencia que el Silicio). La otra, tipo n, será dopada con Boro que es una región con mayor presencia de huecos que de electrones.

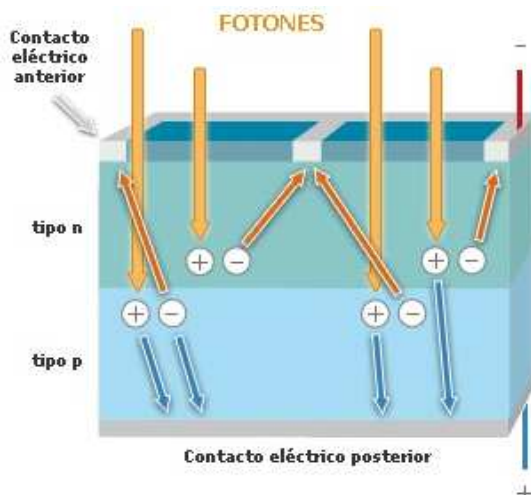


Figura 2.1. Generación corriente continua célula solar

La estructura de estas células varía entre Silicio mono o poli cristalino y/o amorfo.

- Silicio mono cristalino: se compone de silicio puro fundido dopado con boro. A pesar de que su proceso de fabricación es más complicado, es el más empleado debido a que ofrece un rendimiento mayor que el resto.
- Silicio poli cristalino: al igual que las anteriores, se componen de silicio puro fundido dopado con boro, sin embargo, en la fabricación se reduce el número de fases de cristalización. Si bien tienen menor rendimiento, son más delgadas y brindan un mayor aprovechamiento del espacio lo que simplificará el proceso de fabricación y, por lo tanto, una reducción de costes.
- Silicio amorfo: se fabrica utilizando la condensación en fase de vapor del Silicio resultado de esto un sólido estable y resistente a los agentes externos. El principal inconveniente es que a partir de un número de horas de funcionamiento su rendimiento cae notablemente.



Figura 2.2. Silicio Mono cristalino (Cedido remonsolar.com)

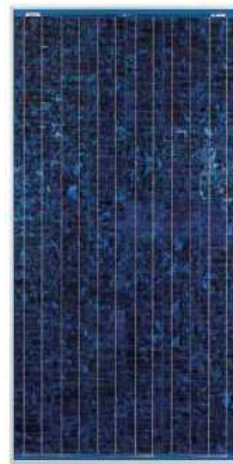


Figura 2.3 Silicio poli cristalino (Cedido remonsolar.com)



Figura 2.4 Silicio amorfo (Cedido remonsolar.com)

Tabla 2.1 Rendimiento células fotovoltaicas

CÉLULAS	RENDIMIENTO
Mono cristalino	15 -18 %
Poli cristalino	12-14%
Amorfo	< 10 %

El Silicio será sometido a altas presiones con hidrógeno para la fabricación las células generadoras. Estas celdas tienen una tensión de salida en vacío $V_{c0} = 0,6 V$.

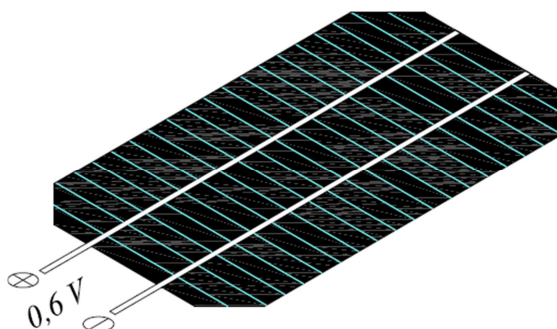


Figura 2.5 Célula generación fotovoltaica

La celda individualmente se comportará como una fuente de intensidad con un diodo pn ideal con una resistencia en serie provocada por los contactos metálicos y el semiconductor, y otra en paralelo debida principalmente a las fugas de corrientes por la superficie de la célula.

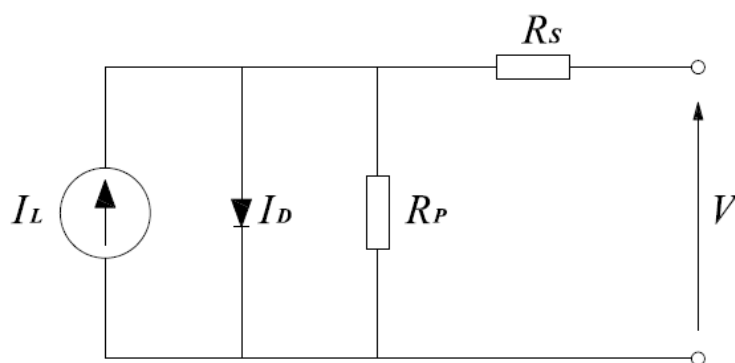


Figura 2.6 Esquema eléctrico célula solar

La conexión en serie de estas células en un número entre 30 y 40 unidades aproximadamente proporciona una tensión de salida cercana a 20 V. Típicamente las tensiones nominales a las

que trabajan los paneles son 12 V, teniendo por lo tanto un exceso de tensión. Este se genera para compensar la caída de tensión en los conductores y cargas, así como la caída que se produce en los paneles debido al aumento de temperatura en los bornes. También se utiliza para cargar las baterías que trabajan a 12 V.

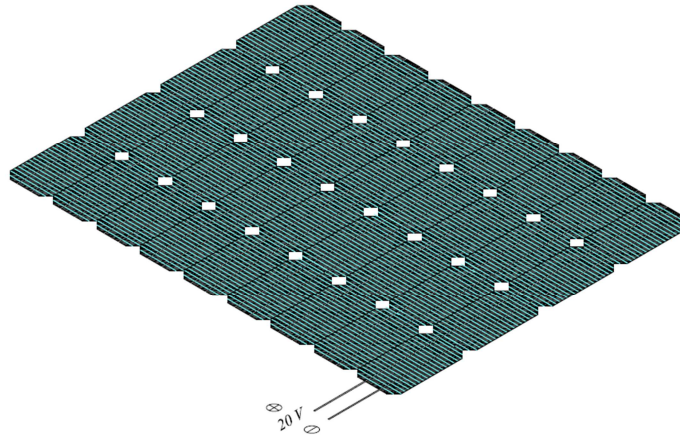


Figura 2.7 Panel solar

Además de la combinación de las células el panel FV está compuesto por otra serie de elementos constructivos, para aumentar la fiabilidad, el rendimiento y la vida del panel. La primera de las capas está compuesta por vidrio templado para garantizar una mayor resistividad mecánica ante adversidades de la intemperie y asimismo un tratamiento anti reflectante superficial para evitar en la medida de lo posible la reflexión de los rayos de sol, y por lo tanto pérdida de parte del recurso.

Recubriendo las células se utiliza un polímero termoplástico llamado EVA (Etil vinil acetato), que tiene un alto grado de transparencia, flexibilidad y resistencia mecánica. Para evitar el desgaste, se utiliza el tedlar que tiene una gran durabilidad y estanqueidad. Todo ello encapsulado por una estructura de aluminio.

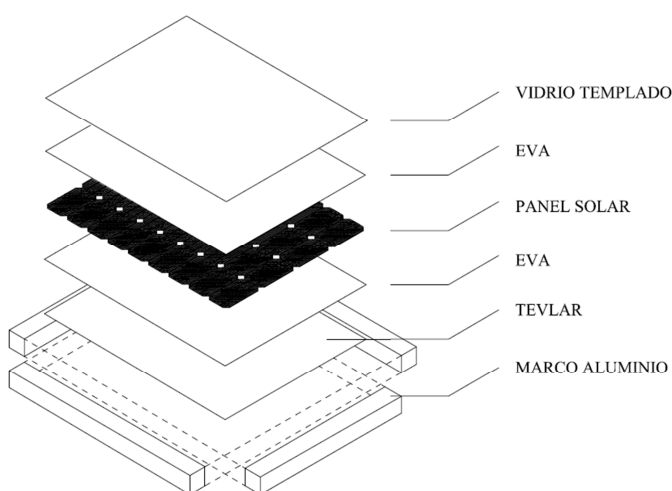


Figura 2.8 Estructura panel solar

Las características eléctricas principales se obtienen del ensayo de vacío y cortocircuito en el módulo fotovoltaico, de estos ensayos se puede obtener la curva característica IV del panel.

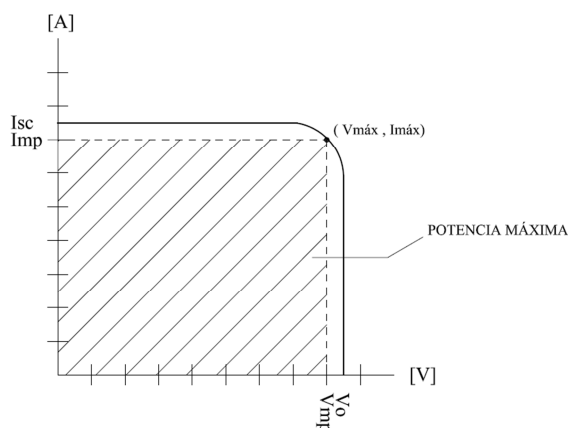


Figura 2.9 Curva I-V

Del ensayo de vacío, es decir, medición en bornes de conexión sin cargas conectadas se obtiene un valor de 20 V como se indicó anteriormente.

Del ensayo de cortocircuito, conectando el polo positivo y negativo del panel, se consigue un valor de intensidad típico cercano a los 3 A, sin embargo, se debe matizar que depende linealmente de la irradiación.

El punto de potencia máxima es el punto en el que se alcanza el mayor rendimiento del panel. Aunque los valores de intensidad y tensión sean menores que los de cortocircuito y vacío respectivamente, la potencia que se alcanza es la máxima.

Una vez definidos estos tres conceptos, se pueden calcular tanto el factor de forma como el rendimiento:

Factor de forma:
$$FF = \frac{P_{m\acute{a}x}}{I_{sc} \cdot V_0} \quad (1.1)$$

Rendimiento:
$$\eta = \frac{P_{m\acute{a}x}}{S \cdot G} \quad (1.2)$$

S el área de la célula [m²]

G irradiancia $\left[\frac{KW}{m^2}\right]$

Desde el punto de vista técnico, la producción de grandes cantidades de energía no supondría ningún problema, sin embargo, desde el punto de vista económico, los costes de generación son muy elevados, superando a los de otras renovables. Este hecho hace que esta tecnología tenga un gran mercado en pequeñas aplicaciones como sistemas aislados, en señalización, comunicaciones, sistemas de respaldo en caso de fallo de red, o aplicándolo a generación distribuida beneficiosa para la red.

Aunque se siguen llevando a cabo numerosos estudios para la mejora de esta técnica, como sistemas de concentración de rayos mediante espejos, la realidad es que la energía solar fotovoltaica tiene un peso en KWh muy inferior al resto de tecnologías en el mundo. Sus costes de generación son alrededor de 6 veces que el de otras tecnologías de combustión fósil, y bastante superiores al de otras renovables.

2.1.3. Energía solar térmica

La energía solar térmica se denomina a aquella que realiza la conversión de la radiación solar en energía térmica. El proceso consiste en la captación de energía solar para su posterior uso. El reto principal residía en el almacenamiento de esta energía para que pudiera ser utilizado en el momento necesario y no en el momento de la conversión. Esto desemboca en sistemas térmicos con métodos eficientes de almacenamiento.

La energía solar es absorbida por los colectores y transformada en energía térmica, esta energía es intercambiada con un fluido de trabajo y almacenada. En función de la temperatura que se alcance en este proceso sus aplicaciones serán distintas. Si se superan los 400 °C la

instalación se considera térmica alta temperatura. En instalaciones térmicas de baja temperatura, la temperatura máxima será de 100 °C. Estas últimas son frecuentemente utilizadas por su fiabilidad, rentabilidad y madurez, así como la accesibilidad por aplicarse a en usos cotidianos como puede ser la producción de agua caliente como ahora se verá.

- *Térmicas de baja temperatura*

Se aplican en sistemas de edificación como alternativa para la generación de energía térmica, que posteriormente a través de los captadores será cedida al fluido de trabajo. En función del uso de este, surgen distintos tipos de instalaciones:

- Sistemas de agua caliente (ACS): es un sistema de amortización rápida debido al uso cotidiano y a la continuidad del recurso. El fluido de trabajo tras la absorción de calor del colector o captador, es almacenado y ofrecido como alternativa al agua caliente de la red. De este modo, mientras no sea necesario, la instalación no dispondrá del agua caliente de red y se servirá de la que genera el sistema captador-acumulador.

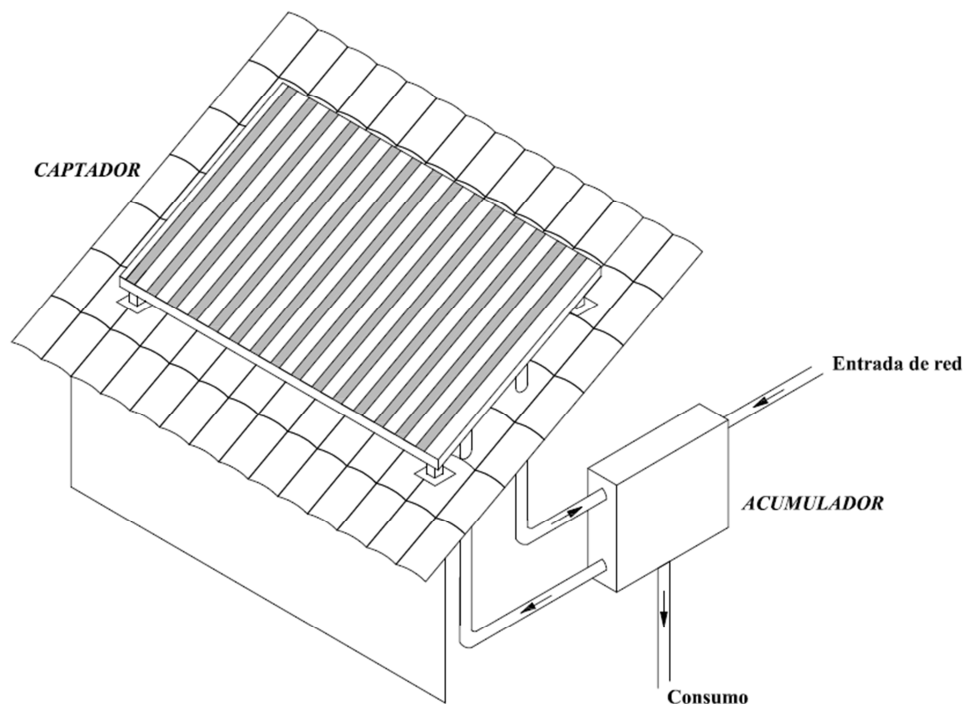


Figura 2.10 Sistemas de agua caliente

Esta configuración es utilizada para aplicaciones industriales con una gran demanda de ACS como, por ejemplo, en industria textil, química, alimenticia, etc.

En muchas de estas, que también tienen plantas de secado, el fluido de trabajo precalentado es aire en vez de agua. Dependiendo del uso que se vaya a dar, hay que adaptar la instalación a las necesidades.

- Sistemas de calefacción: el esquema es muy similar al de los sistemas de agua caliente, formado por captador, acumulador y el grupo de apoyo convencional. Mientras el sistema pueda autoabastecerse con la energía intercambiada por el colector al fluido no será necesario utilizar el sistema convencional de calefacción. En el momento en que no se pueda servir la energía demanda, el equipo de control automáticamente dará paso al apoyo.

Difieren de los sistemas de agua caliente en la obligatoriedad de su uso, además de la regulación por el CTE. Mientras que en instalaciones de agua caliente hay que respetar la normativa, en las de calefacción no hay normativa que las regule.

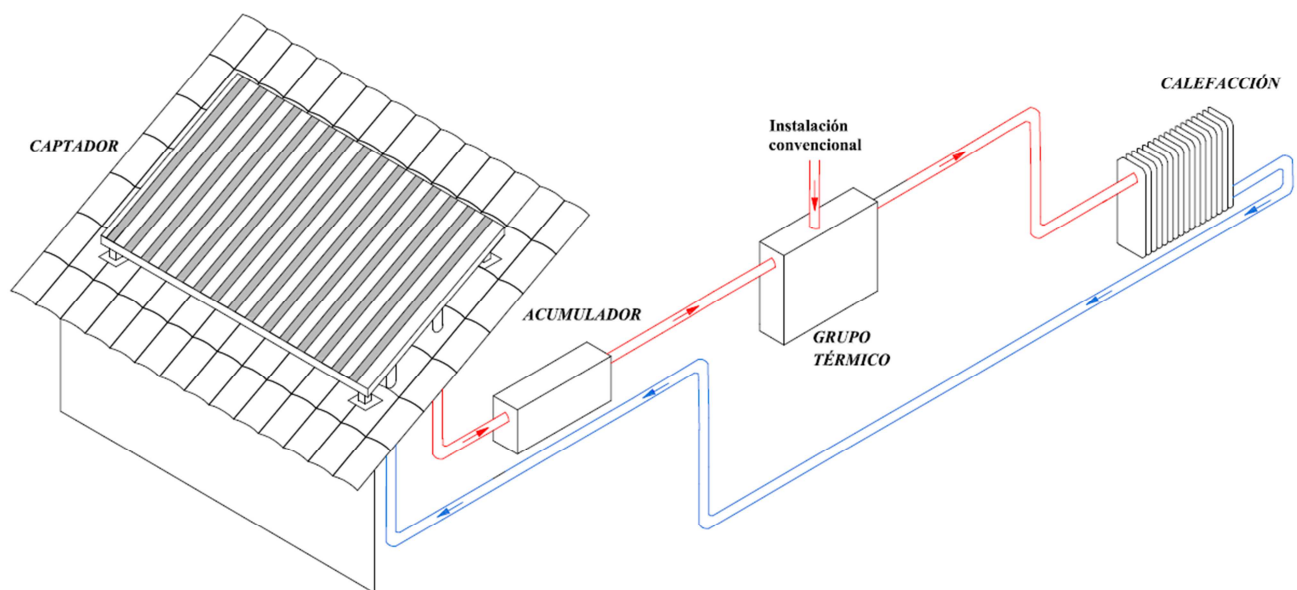


Figura 2.11 Sistemas de calefacción

- Sistemas de refrigeración: en este caso la finalidad es que el fluido llegue al punto de consumo a baja temperatura, de modo que se busca que el fluido ceda el calor necesario para ello. La principal ventaja de estos sistemas es su doble

funcionalidad, en verano como refrigerador, en invierno como calefacción. Debido a que el proceso consiste en un equipo térmico de absorción o adsorción de calor, mediante sistemas de control, se puede conseguir la temperatura final deseada. En estos equipos son la alternativa a aquellos que funcionan con energía eléctrica que ocasionan picos de potencia en la red durante los meses calurosos, emiten CO₂ y trabajan con refrigerantes muy contaminantes. La flexibilidad de estas instalaciones reside en la variabilidad de los grupos de apoyo, pueden ser tanto otro sistema térmico o grupos de refrigeración puntuales o las diversas combinaciones.

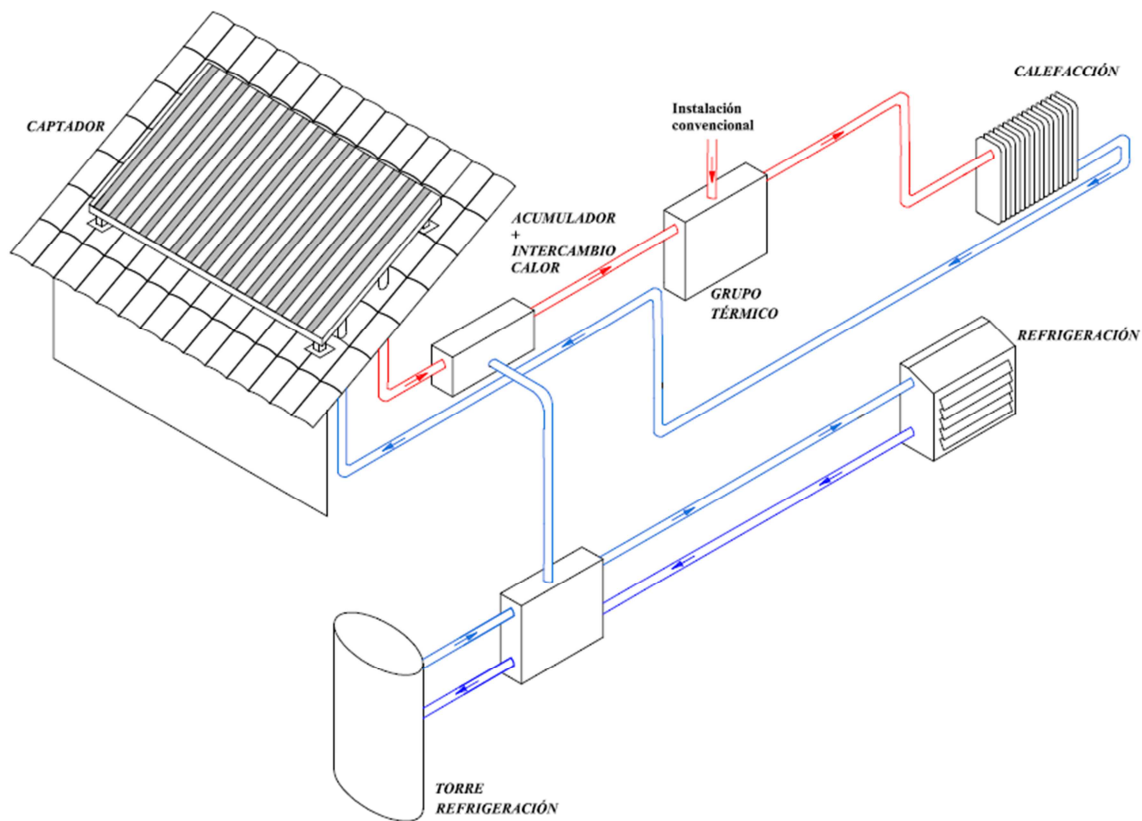


Figura 2.12 Sistemas de calefacción + refrigeración

Además de estas aplicaciones, esta tecnología se utiliza para climatización de piscinas. Este tipo de instalaciones están regulados por el CTE, aquellas que estén cubiertas podrán tener un grupo de apoyo. Por el contrario, las piscinas descubiertas deberán utilizar solo las energías renovables para calentar el agua. Debido a la cantidad de fluido a calentar, lo más económico es alcanzar una temperatura y mantenerla. De este modo no serán necesarios sistemas de acumulación o intercambio de calor.

- *Térmicas de media y alta temperatura.*

La temperatura que alcanza el fluido es superior a los 400 ° C en el caso de térmica de alta temperatura y se encuentra entre 100 y 400 ° C en media temperatura.

En el caso de tecnologías de media temperatura se utilizan colectores de concentración. Estos colectores concentran los rayos solares sobre un punto en el que está contenido el fluido de trabajo. Estas instalaciones están destinadas principalmente en procesos industriales, en desalinización del agua y refrigeración en algunos casos.

En alta temperatura se utilizan una serie de espejos parabólicos que, al igual que en media temperatura, reflejarán los rayos de sol sobre un tubo que contiene el fluido y absorbe el calor, pudiendo alcanzar temperaturas de hasta 2000 ° C. Una vez obtenido el fluido a altas presiones se turbinan en un proceso de expansión que dará como resultado una potencia eléctrica.



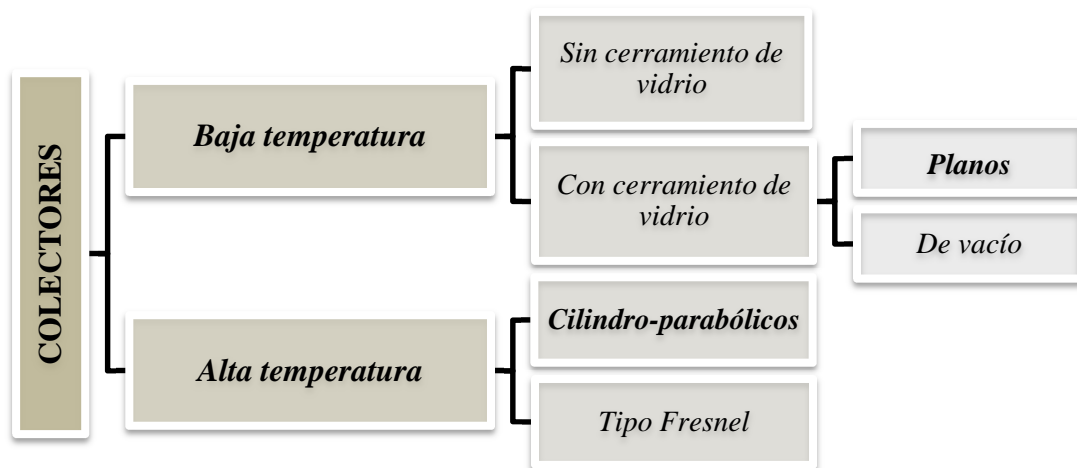
Figura 2.13 Solar térmica alta temperatura (Cedido www.enrenovables.com)

- *Colectores o captadores:*

Los colectores o captadores son los encargados de la captación y transformación de energía solar a calorífica. Como se ha ido comentando a lo largo del capítulo, según el tipo de instalación a instalar se deben utilizar una serie de captadores u otros. La

finalidad de estos equipos es la captación de la radiación solar, pero difieren en técnica y estructura. Estos captadores se pueden clasificar en:

Tabla 2.2 Clasificación colectores



- Los colectores planos están formados principalmente por una superficie de absorción, canalización para la circulación del fluido, una serie de cubiertas transparentes, tubo serpentín que contiene el fluido y la estructura que encapsula el conjunto. La superficie de absorción es una placa metálica cuya característica principal es el factor de absorción, relacionado directamente con el material utilizado.

Tiene una carcasa que proporciona rigidez y protección frente a la corrosión y las diferencias de temperatura. La incidencia de los rayos de sol se produce sobre la cubierta transparente. La eficiencia del material que compone la cubierta determina la cantidad de rayos que absorberán la superficie. Esta origina el efecto invernadero y asegura la estanqueidad del conjunto. Los materiales utilizados para la construcción de estas cubiertas suelen ser vidrio o plástico.

El absorbedor es el encargado de transmitir la energía calorífica recogida en el captador y transmitírsela al fluido que recorre las canalizaciones. Habitualmente se sueldan las placas metálicas al tubo en forma de serpentín para la transmisión de

calor al fluido. Las características principales de los materiales son el coeficiente de absorción y el de emisión.

Por último, se dispone de un aislante térmico para reducir las pérdidas de energía calorífica que se producen a través de la carcasa, normalmente construida con materiales metálicos que tienen un gran coeficiente de conducción. Se debe elegir un material resistente tanto a altas temperaturas como a la humedad. Los más utilizados por sus características técnicas son el poliuretano rígido y el poli estireno expandido. Ambos tienen buen comportamiento ante la humedad y aceptable resistencia térmica.

La mejora que ofrece el cerramiento de vidrio es que disminuye la pérdida de energía térmica producida dentro del captador. La placa metálica al aumentar su temperatura emite una energía, para evitar su pérdida se colocan unas cubiertas de cristales que, aunque no tengan un 100% de admisión de los rayos solares, retienen las radiaciones emitidas por la placa.

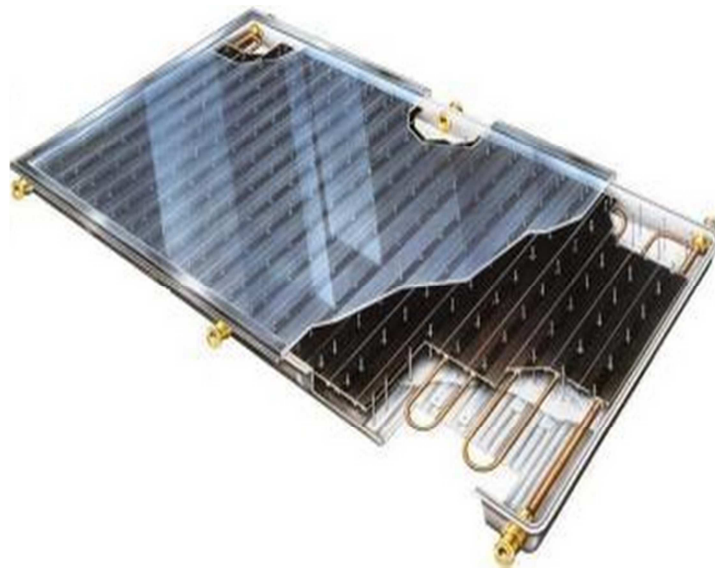


Figura 2.14 Colector plano (Cedido www.mimacsolar.es)

- Los colectores de vacío están formados por un captador encapsulado en un tubo de vidrio eliminando el aire de su interior para evitar pérdidas por convección a través del aire. Se colocan una serie de estos tubos sobre los tubos contienen el fluido. Estos tubos pueden girar independientemente hasta un ángulo alrededor de 20°,

consiguiendo así una alineación con el sol más eficiente. En función del fluido al que se transmita esa energía calorífica obtenida se distinguen:

- ~ De circulación directa: el calor se cede directamente al fluido de trabajo.
- ~ Tipo “Heat Pipe”: la absorción se realiza con un fluido frigorífico y mediante un intercambiador de calor se intercambiará con el fluido de trabajo. Estos últimos tienen mayor rendimiento.

Aunque el rendimiento de estos captadores es mayor, debido a los materiales con los que se construyen, tienen serios problemas de durabilidad por su fragilidad. Al estar compuestos por vidrio en su parte exterior su resistencia ante golpes o inclemencias del tiempo como granizo es muy baja.



Figura 2.15 Colector de vacío (Cedido www.mimacsolar.es)

- Los captadores cilindro-parabólicos se utilizan en aplicaciones de media o alta temperatura, es decir, que trabajan a temperaturas superiores a los 100 ° C. Están formados por un espejo de sección parabólica que refleja la radiación recibida sobre un tubo receptor que contiene el fluido de trabajo. La concentración de esta radiación sobre el tubo origina que el fluido que contiene aumente su temperatura.



Figura 2.16 Colector parabólico (Cedido cali-vac.megavisos.com.co)

- Captadores tipo Fresnel: difieren en la estructura con los cilindro-parabólicos pero el método es exactamente el mismo. Una superficie reflectores concentra los rayos solares sobre un absorbedor.

2.2 Energía eólica:

Esta tecnología utiliza el viento como recurso para la generación de energía mecánica. Como se ha comentado anteriormente, el la energía solar es el recurso que sirve a todas las tecnologías para la obtención de energías renovables. En este caso, será este el que mediante la energía calorífica aportada aumente la temperatura de las masas de aire, cada emplazamiento tendrá una masa de aire distinto y la cuota de insolación también lo será. La temperatura que alcanzan estas masas depende de estos factores, lo provocará calentamiento no uniforme de las masas de aire, con la diferencia de temperaturas se produce un cambio en la densidad y presión. El aire se moverá de las zonas de alta presión a las de baja presión provocando el viento. Otras fuerzas que afectan al movimiento de estas masas son la fuerza gravitacional, de fricción y de coriolis. Además la topografía del terreno, su situación o la climatología afectarán en la formación de las corrientes de aire y en su velocidad.

En el cálculo de la velocidad del viento se puede observar como depende tanto del terreno (factor α) y la altura:

$$v = v_0 \cdot \left(\frac{h}{h_0}\right)^\alpha \quad (2.1)$$

Por supuesto, válida partiendo de una medida inicial, pero eficaz para observar la importancia de la rugosidad del terreno, que varía desde el más favorable al nivel del mar (0,1-0,13), hasta el más desfavorable como pueden ser ciudades con grandes edificios (0,3-0,4).

La finalidad de esta tecnología es la de transformar la energía cinética del viento en energía mecánica. Si esta energía mecánica se utiliza directamente para el bombeo se denominan aerobombas y si transforman la energía mecánica en eléctrica para su posterior uso, aerogeneradores.

2.1.1. Aerogeneradores:

En aerogeneradores la energía mecánica obtenida se destina a la generación de energía eléctrica. El viento mueve las palas de la hélice, el rotor, y este transmite el movimiento mediante un eje hasta una caja multiplicadora. La velocidad de giro se regula para garantizar la seguridad y la mayor eficiencia en la generación. Este movimiento se transmite hasta el alternador donde se produce la energía eléctrica. Esta energía debe ser transformada para su posterior servicio en el punto de consumo.

Para generar electricidad se distinguen entre dos tipos de turbinas de viento. Las de eje vertical, donde se encuentran la turbina Savonius y Darrieus o las de eje horizontal. Estas últimas son las más utilizadas porque ofrecen mejor rendimiento. A mayor altura, las perturbaciones que genera el contacto entre el suelo y el viento serán menos notables para el aerogenerador.

En este tipo de instalaciones, es necesario tener un control sobre la potencia generada, la velocidad de giro además de asegurar métodos de conexión y desconexión suaves. El caso del parque eólico, la conexión a red exigirá una energía eléctrica libre de oscilaciones, y posibilidad de control de potencia. Para garantizarlo se utilizan sistemas de parada y sistemas de control de par. Los sistemas de parada pueden ser mecánicos (frenos de disco habitualmente) o dinámicos cuando la pala puede cambiar su ángulo de inclinación total o parcialmente. Los sistemas de control de par varían entre sistemas de velocidad fija o sistemas de velocidad variable. Estos últimos mejoran la calidad de la potencia generada, reduciendo la oscilación de par y ofreciendo el control sobre el factor de potencia.

Los aerogeneradores pueden ser síncronos o asíncronos. En generadores síncronos, se utilizan sistemas mecánicos reductores como la caja multiplicadora combinado con distintas configuraciones. Estas van desde la conexión directa al grupo rectificador – convertidor, como la conexión con doble alimentación o con control dinámico de deslizamiento. Si se centra la atención en aerogeneradores asíncronos, se puede observar que utilizan un sistema de excitación combinado con el grupo rectificador + convertidor.

La principal característica de estos equipos es la curva de potencia, que muestra el desarrollo de la potencia generada de la máquina en función de la velocidad del viento. Se muestran tres velocidades de trabajo:

- Velocidad de arranque: a partir de la cual el aerogenerador comenzará a generar.
- Velocidad nominal: cuando alcanza la velocidad que hace nominal el valor de potencia.
- Velocidad de desconexión: una vez alcanzada el equipo dará paso al sistema de frenado porque no se garantiza la seguridad en la generación.

Como se muestra en la siguiente figura, la energía que se produce anualmente en un parque eólico está en función de la potencia nominal de los aerogeneradores y de las horas de trabajo.

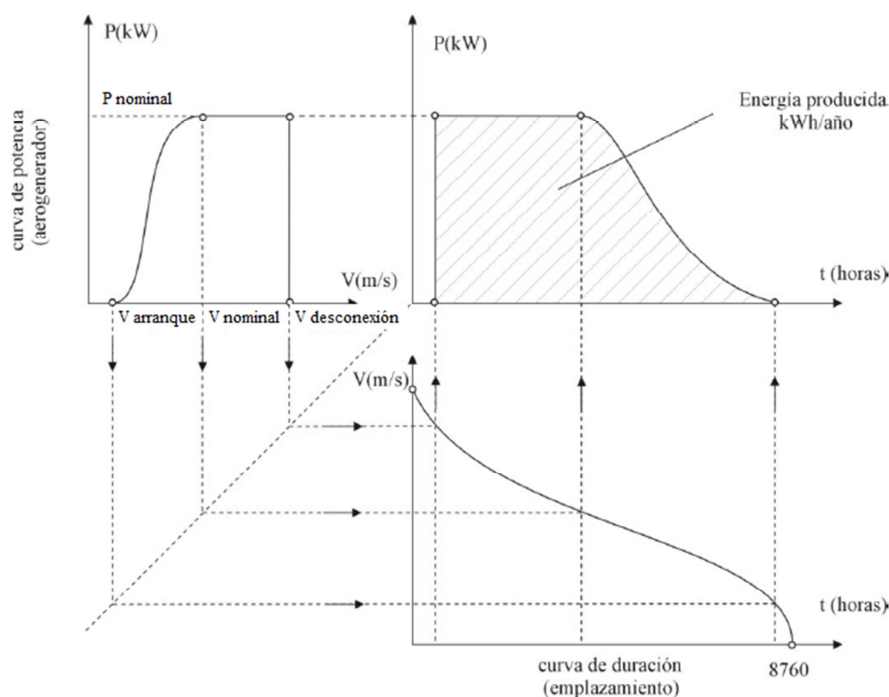


Figura 2.17 Curva potencia aerogenerador

Sus aplicaciones van desde pequeñas instalaciones destinadas a dar servicio a pequeños consumos aislados (bomba, centro de telecomunicaciones, etc.), utilizando aerogeneradores con potencia unitaria inferior a los 65 kW, hasta grandes parques eólicos con aerogeneradores de hasta 80 MW de potencia unitaria.

En parques eólicos, los generadores se alinean de forma perpendicular a la dirección predominante de los vientos. Dependiendo de la potencia total de la instalación, o bien se conectan todos o bien se forma grupos de aerogeneradores conectados a transformadores de tensión. Posteriormente, en una subestación se acondicionará la tensión a la de la compañía eléctrica.

Aunque los costes de inversión no son muy altos y la madurez de la tecnología invitan a la inversión en este tipo de energía renovable, la incertidumbre e intermitencia del recurso, la necesidad de llegar a un umbral de conexión para impulsar el rotor y las últimas actualizaciones de la legislación en cuanto a tarifas y ayudas de inversión, hacen que se busquen emplazamientos más seguros en cuanto a inversión y con rendimiento mayor. La eólica marina no es una tecnología sólo de futuro sino de presente también:

- Menor rugosidad y ausencia de obstáculos.
- Mayor vida útil y disminución de la fatiga.
- Aumento de la velocidad de trabajo de la pala debido a la lejanía de núcleos urbanos, lo que conlleva una disminución de peso en la pala y estructura.

Sin embargo, la dificultad en el análisis del recurso, como los costes de cimentación y construcción unidos a la falta de infraestructura para la conexión directa a los consumos hacen que esta tecnología sea más inaccesible.

2.1.2. *Aero bombas:*

En este caso, la energía mecánica generada por el movimiento de las hélices es utilizada únicamente para el bombeo de una masa de agua. Estos sistemas de bombeo se pueden clasificar en tres categorías:

- *Molino de viento:* se utilizan en emplazamientos con velocidades de viento inferior a 5 m/s. No tienen una gran envergadura, está compuesto por entre 10 y 20 palas con radio alrededor de 4 m. Este molino se debe situar junto al pozo del que se

quiere extraer el agua. Mediante una bomba de pistón accionada por un mecanismo biela-manivela. Este tipo de instalaciones utilizan una caja multiplicadora para poder bombear a mayores profundidades y, debido al descenso de la velocidad, aumentar la vida útil.

Este tipo de infraestructura es muy pesada y aparatosa y el bajo rendimiento que ofrece, añadido al sufrimiento del mecanismo de transmisión ante las condiciones de intemperie, hacen de esta una instalación prácticamente obsoleta.

- *Aerobombas ligeras:* se podría decir que es la segunda generación del molino de viento para bombeo. Se redujo el peso y, por lo tanto, los costes. Se redujo el par de arranque para poder funcionar con menor velocidad del viento. Todo ello unido a el uso de bombas de pistón, ha hecho que se aumente el rendimiento y se reduzcan los costes de la instalación.
- *Bombeo eléctrico:* se utilizan aerogeneradores para la generación de electricidad destinada a la alimentación de una bomba. En este caso, el diámetro de los rotores varían entre 2 y 20 m. Aunque estas instalaciones no funcionen por debajo de los 4 m/s de velocidad de viento, tienen una mayor fiabilidad, mayor rendimiento y flexibilidad a la hora de ubicarlos. Todo ello hace que aumenten los costes de inversión, sin embargo, a largo plazo es la configuración más eficiente.

2.3 Energía hidráulica:

Como se ha indicado anteriormente, todas las energías renovables provienen de la energía procedente del sol. En el caso de la energía hidráulica es el encargado de proporcionar la energía calorífica necesaria para que se produzca el cambio de estado a vapor del agua. De este modo, inicia un ciclo hidrológico en el que cuando este vapor de agua forme nubes y alcance una temperatura caerá en modo de precipitación. Se pueden distinguir dos energías distintas, la energía potencial cuando se produce el cambio de altura y la energía cinética tanto en la precipitación como en las corrientes de agua que se forman. La que ofrece mayor recurso es la energía potencial en los saltos de masas de agua.

Se hace distinción entre tres tipos de instalaciones hidráulicas.

2.3.1. Hidráulica convencional

Esta tecnología se abastece del agua procedente de las precipitaciones. Se construyen embalses de agua en los ríos para almacenarla. Este almacenamiento de agua permite a la central la producción de energía adecuándose a la demanda del mercado. La central hidroeléctrica se situará por debajo del embalse, lo que se denomina a pie de presa.

La instalación consta de una válvula que regula el paso del fluido. Este fluido se conduce hasta la central y mediante una turbina compuesta por álabes se transforma la energía del fluido en energía mecánica de rotación. La turbina hidráulica está acoplada a un alternador que hace posible la transformación de energía mecánica a energía eléctrica. Por último, esta energía eléctrica pasa por una subestación para elevar la tensión a la de red.

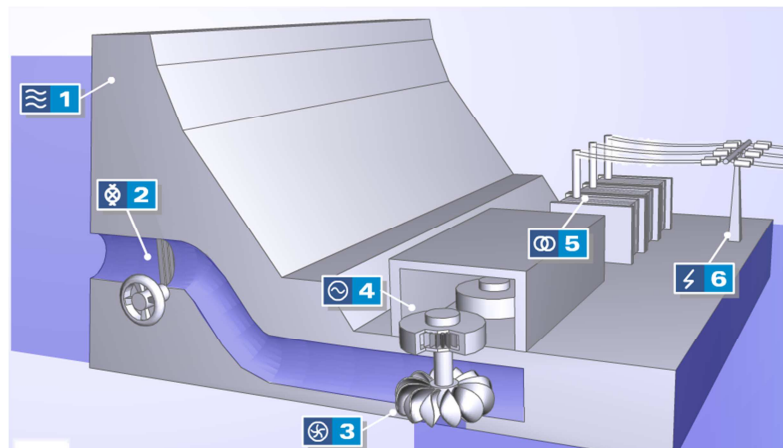


Figura 2.18 Central hidráulica convencional (Cedido web Endesa)

Estas centrales se pueden clasificar según potencia; gran potencia (>10 MW), media potencia ($1 < P < 10$ MW) o de pequeña potencia (<100 kW).

Se pueden clasificar también según la altura del salto: gran altura (>50 m), media altura ($15 < H < 50$ m) o pequeña altura (< 15 m).

2.3.2. Centrales de bombeo

La infraestructura de estas centrales es muy parecida a las centrales tradicionales. Se diferencia en que cuenta con más de un embalse y del trasvase de uno a otro turbina para generar energía. Cuando es necesario recuperar parte del fluido para volver a generar, se bombea del embalse inferior al superior. Las curvas de carga presentan horas valle y punta, en

las primeras el coste de la energía tiene un precio muy inferior a la de las horas punta. El proceso de turbinado se produce durante las horas punta, cuando más consumo hay, el fluido se turbin y se abastecen los picos de carga que, de otro modo, deberían ser abastecidos por centrales con costes de generación más altos. Se consigue que las grandes centrales térmicas funcionen a régimen constante.

En el momento en que la demanda baja y se llega a las horas valle, es hora de recuperar el fluido del embalse inferior para que pueda volver a ser turbinado. Este fluido se bombea, por otra parte, actuando como consumidores.

Estos sistemas se construyen como respuesta a las irregularidades de la demanda, apoyando al sistema eléctrico en horas de mayores consumos. Servirán como sistemas de apoyo a las centrales térmicas y nucleares. En horas punta hay que hacer frente a un incremento de demanda que, de no ser por las centrales hidráulicas, sería cubierto por centrales con costes marginales muy altos lo que encarece el coste de generación.

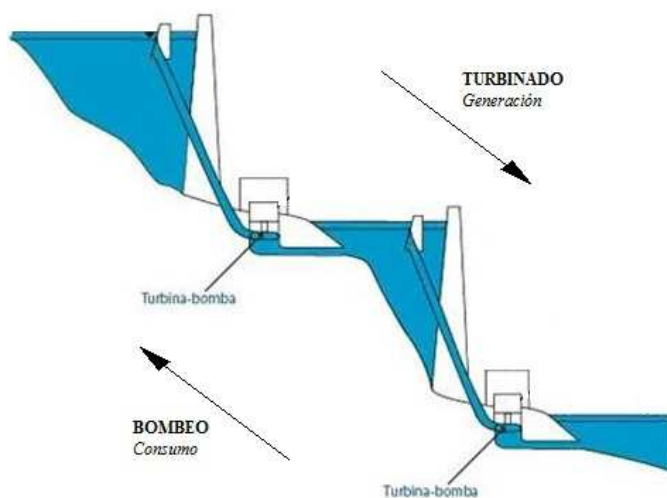


Figura 2.19 Central hidráulica bombeo (Cedido lanación.com)

2.3.3. Centrales mareomotrices

Se aprovecha la diferencia de alturas que se produce durante las mareas. La infraestructura consiste en un embalse que retiene la masa de agua durante la subida de marea para, más tarde cuando haya una diferencia de alturas por la bajada de la marea turbinar la masa de agua embalsada. Se puede turbinar el recurso en ciclo simple como el descrito o mediante un ciclo

doble en el que el proceso de turbinado tiene lugar con el cambio de marea, como el proceso anterior, y además durante el llenado.

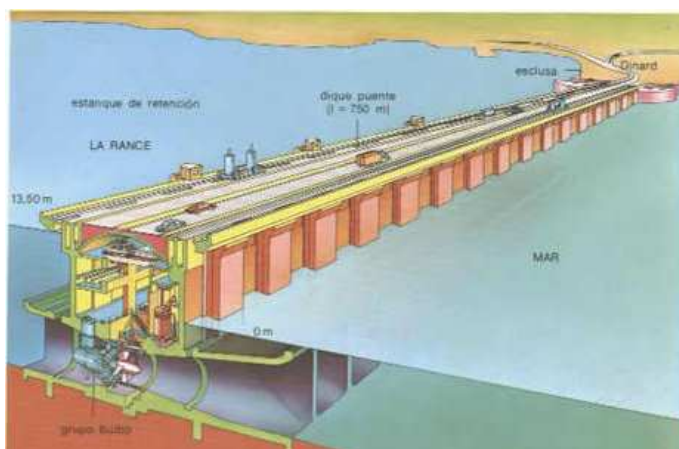


Figura 2.20 Central hidráulica mareomotriz (Cedido tecnologia-cardones.wikispaces.com)

2.3.4. Turbinas hidráulicas

La turbina es el elemento que permite la transformación de la energía potencial en energía mecánica. Se pueden distinguir dos tipos de turbinas, las de impulso y las de reacción.

En turbinas de impulso, la altura se convierte en energía cinética antes del rotor por lo que el fluido se encontrará a presión atmosférica.

En turbinas de reacción, la turbina hace uso tanto de la velocidad como de la diferencia de presión para obtener una potencia. En este caso, el rotor está sumergido y la velocidad y la presión se reducen en el proceso de turbinado.

En función del tipo de tecnología que utilice la turbina y de sus aplicaciones, generalmente los tipos de turbinas utilizados son los siguientes:

- Turbina Pelton: es una turbina de impulso, en la que se inyecta a través de un inyector un caudal a presión atmosférica sobre un disco circular con cucharas giratorias. La potencia obtenida se regula con el chorro de incidencia. Los inyectores son regulables y se puede decidir la cantidad de fluido queremos que incida sobre las palas.

Estas turbinas son empleadas en saltos de gran altura con pequeños caudales y su rendimiento suele ser alrededor del 90%.

- Turbina Francis: es una turbina de reacción de eje vertical. Un colector sumergido con forma de caracol se encarga de distribuir el flujo de agua. Este colector de sección decreciente dirige el fluido hacia un distribuidor constituido por una serie de álabes orientables que direccionan el caudal hacia el rotor. En el continuo la expansión y se produce la deflexión de la corriente. En el núcleo se dispone de una serie de paletas que reciben el fluido y le dan salida en dirección axial. Por último, para recuperar el máximo trabajo en la turbina, un tubo de aspiración reduce la energía cinética de salida.

Estas turbinas son utilizadas en saltos de agua medios-altos y caudales considerables.

- Turbina Kaplan: son turbinas de reacción y el funcionamiento es idéntico a las turbinas Francis. La principal diferencia es que estas son reversibles, es decir, se utilizan también como grupos de bombeo. Además debido a su empleo en pequeños saltos de agua y con caudales medios hacen que estas sean menos voluminosas.

Los principales inconvenientes de este tipo de energía renovable son los largos períodos de construcción y la gran inversión inicial que requiere unido a la dificultad de encontrar emplazamientos adecuados. Una vez hecho frente a estos, se obtiene una energía limpia, sin ningún tipo de residuos, con un gran rendimiento y regula fácilmente a través de los caudales. Además finalizada la gran inversión inicial, los gastos de explotación prácticamente conllevan solo el mantenimiento.

2.4 Energía geotérmica

La energía geotérmica es la que se obtiene del calor almacenado en el interior de la tierra. Este transmite por conducción a través de los materiales del subsuelo. Los coeficientes de conducción de estos materiales son muy bajos lo que provoca que en la mayor parte de los casos se almacene en el núcleo de la tierra. El calor se produce por la desintegración de los isótopos radiactivos que contienen las rocas. Esta reducida cantidad de energía se transmite por conducción, lo que desemboca en el aumento de la temperatura en el interior que provoca

un flujo geotérmico. Aun siendo menor que el flujo solar, en determinados lugares la temperatura alcanzada en la corteza es mucho mayor de lo habitual y se tiene mayor facilidad para extraer calor. La mayor ventaja de este recurso es que su calor puede tardar miles de años en disiparse.

Además de darse estas condiciones anormales, el terreno tiene que ser adecuado ofreciendo altas temperaturas en profundidades a las que se pueda acceder, con terreno poroso que sea capaz de retener agua con la que se producirá al intercambio de calor.

Las explotaciones suelen encontrarse a profundidades de entre 1 y 15 Km de profundidad. En ellas se forman cámaras que contienen agua rodeada de un aislamiento de roca. Las condiciones óptimas para su explotación son que tanto la temperatura como la presión garanticen el estado gaseoso del agua para poderlo turbinarlo con una turbina de vapor. De lo contrario, la inversión no tendría sentido turbinar el agua en estado líquido debido al aumento de los costes de mantenimiento.

2.5 Energía biomasa

La materia orgánica forma parte de la energía solar que se almacena en cada uno de los elementos de la tierra, es decir, la formación de la biomasa es el modelo básico de captación y acumulación de energía solar. Su formación se realiza por fotosíntesis y se consiguen átomos con alto contenido energético.

Se puede distinguir en la biomasa originada directamente por la fotosíntesis y la producida por los seres vivos al consumirla. Las aplicaciones de esta tecnología consisten en utilizar los residuos desechados en la producción, tanto agraria como industrial, como fuente de energía. Además se crean cultivos energéticos teniendo en cuenta el potencial energético que tendrá para su posterior uso.

Todas ellas tienen en común la inagotabilidad del recurso que utilizan para la generación y la emisión nula de gases nocivos para el medio ambiente. Si bien es cierto que el talón de Aquiles de estas tecnologías frente a los mercados eléctricos ha sido la incertidumbre para lograr una predicción de generación debido a la variabilidad del recurso, la tecnología y el desarrollo están consiguiendo la adaptabilidad de estas, aunque su aclimatación no haya sido la deseada por todos.

3. SISTEMAS HÍBRIDOS

3.1 Introducción

Los sistemas híbridos consisten en la combinación de distintas tecnologías de generación, almacenamiento energético y elementos de control que formarán un sistema eléctrico. Su desarrollo surge como alternativa al consumo de la energía generada por las compañías eléctricas. El abusivo aumento progresivo tarifario sobre la factura de la luz y el estado socioeconómico de España han propiciado el desarrollo de este tipo de tecnología.

Sin ánimo de entrar en demasiado detalle, creo que es necesario mostrar brevemente la evolución del sistema eléctrico español durante la última década y definir algunas de las actividades que se llevan a cabo.

Hasta los años 90 la regulación del sistema eléctrico español correspondía a un servicio público que se prestaba en condiciones de monopolio. La generación correspondía a compañías, que podían ser públicas o privadas, que se encargaban de todas las actividades relacionadas con el abastecimiento de energía. Tanto generación, transporte y distribución como la comercialización y la coordinación de red eran potestad de las compañías suministradoras. La función del sistema eléctrico estatal era la de garantizar las condiciones de suministro de las compañías y la regulación de precios.

A partir de este momento, se produce la liberalización de los sistemas eléctricos. La idea de introducir competencia, a priori, parecía la forma más rápida y práctica de aumentar la eficiencia del sistema. Se distinguen dos tipos de entornos para las actividades a realizar, aquellas que se deben hacer sin competencia y en las que debe haber competencia. Evidentemente los agentes que participen en uno de ellos no pueden acceder al otro.

El transporte y la distribución se dejan en manos de agentes que no compiten entre sí. La entidad reguladora planifica los ingresos que deben hacer para garantizar el suministro y mantenimiento de las redes, así como establece los ingresos que van a recibir por llevar a cabo esta actividad.

La coordinación económica y técnica se destinó a organismos independientes de aquellos que participan en los mercados de energía. Las únicas actividades sujetas a competencia son las de generación y comercialización. Las empresas generadoras de energía compiten en los

mercados de energía eléctrica, vendiendo esta energía a los comercializadores que se encargaran, también en competencia, de suministrar esta energía a los consumidores.

El precio de la energía está compuesto por peajes, precio de la energía e impuestos. El precio de la energía se estipula con subastas a la baja, trimestrales y diarias y la gestión económica es encomendada al OMIE (Operador de Mercado Ibérico de Energía) que es responsable de la gestión del sistema de compra-venta de energía y de gestionar cobros, pagos y liquidaciones. Este precio representa aproximadamente el 50 % de lo que finalmente pagará el consumidor en su factura.

Los peajes corresponden a los costes fijos del sistema, tanto transporte como distribución, así como incentivos a renovables, moratoria nuclear o el funcionamiento de la comisión nacional de mercados.

De la subasta eléctrica resulta un precio de la energía, al que se le sumará el precio de los peajes. Si el precio obtenido de la subasta es muy alto, el estado se encargará de regular un precio justo bajando los peajes en la factura. En caso contrario, que de la subasta salga un precio bajo, se deben compensar los períodos de precios de subasta más alto y el descenso del peaje será leve. En el momento en que se bajan los peajes o tarifas de acceso, se está asumiendo una diferencia entre lo que cuesta generar, transportar, distribuir y el mantenimiento para generar la energía y lo que se ingresa. Por ello, se asume una deuda con el encargado de la generación, transporte y distribución, porque los ingresos son inferiores a los costes.

Debido a que la competencia existente entre los generadores de electricidad es prácticamente nula, teniendo en cuenta que participan los cuatro grandes Iberdrola, Gas Natural Fenosa, Endesa y E.On, el sistema que conseguiría el aumento de eficiencia gracias a la introducción de competencia ha alcanzado una deuda estratosférica con las eléctricas. Estas, protegidas por la opacidad, fijan un coste de generación y mantenimiento que más tarde ha generado un déficit tarifario del que se hacen cargo todos los consumidores a través de los peajes e impuestos.

Esta deuda asumida por el estado español con las eléctricas ha aumentado progresivamente la factura del consumidor. A ello se le une el precio adoptado por los combustibles fósiles, que hasta ahora era una forma de generación alternativa muy utilizada. Esto ha propiciado el

desarrollo de tecnologías que haciendo uso de energías renovables aseguran la continuidad y calidad del suministro.

Estos sistemas no son únicamente una alternativa a la conexión a red, sino que en muchos emplazamientos en los que las redes de distribución no llegan a dar servicio son una opción real. Hay que tener en cuenta, que no sólo en España, sino en todo el mundo hay zonas rurales cuyos sistemas de electrificación son nulos y el simple hecho de obtener agua se sigue realizando a mano. Estos sistemas pueden contribuir al desarrollo de muchas zonas en vías de desarrollo o con necesidades de suministro con inversiones asequibles y costes fijos bajos.

3.2 Configuraciones

Los sistemas híbridos se caracterizan por la flexibilidad y adaptabilidad en sus instalaciones. Sus posibles configuraciones son muy numerosas al igual que su clasificación. Se distinguen por los sistemas de generación utilizados, por el uso o no de sistemas de almacenamiento o por su esta de conexión a la red de distribución.

Las fuentes de generación que se suelen combinar son los generadores fotovoltaicos, aerogeneradores, generadores hidráulicos, además de los grupos que funcionan con combustible fósil. Otra de las posibles variantes en las instalaciones es el uso de sistemas de almacenamiento como baterías o tecnologías con pilas de hidrógeno. A parte de ello, la elección de estos elementos dará paso a la de otros de dispositivos de control como los inversores, rectificadores o reguladores de carga.

La finalidad es tener continuidad en el suministro con la menor inversión posible que garantice además la calidad, con la combinación, control y seguridad requeridos. La configuración más utilizada, ya sea con conexión a red o sin ella, es el uso de paneles fotovoltaicos con respaldo de generación de combustible fósil.

El objetivo del proyecto es la comparación de resultados en una instalación híbrida aislada formada por Generadores fotovoltaicos, Grupo de apoyo de combustible fósil y Sistema de almacenamiento. Este tipo de instalaciones, tanto con sistema de almacenamiento como sin él, son las más utilizadas y su importancia reside en la flexibilidad para adaptar otro sistema de generación a los paneles fotovoltaicos y principalmente en los costes de generación. Además de grupos de combustible fósil, se pueden instalar aerogeneradores o turbinas hidráulicas

como apoyo a la generación de los paneles. Esta tecnología dependerá del emplazamiento, la carga que hay que abastecer, las condiciones de viento, la posibilidad de acceder a saltos de agua, etc.

Debido a su relevancia y la importancia de su comportamiento para entender los sistemas híbridos el esquema con el que se trabajará es **PANELES + DIESEL + BATERÍAS**. La finalidad es que los paneles generen la mayor parte de la energía para abastecer el consumo. En el caso de que haya un excedente de generación se cargan las baterías, de lo contrario, deben ser las baterías las que abastezcan a la carga. Las baterías se pueden cargar por medio de los paneles o por medio del generador diésel en caso de que entre paneles y la energía almacenada por las baterías no fuera suficiente para dar servicio al consumo. El generador de combustión fósil actúa como respaldo, entrando únicamente para la carga de baterías cuando sea necesario.

El sistema de control es el encargado gestionar y transformar la energía eléctrica. Los paneles fotovoltaicos trabajan con corriente continua a una tensión de 12,24 ó 48V, al igual que las baterías. Tanto el grupo diésel como las cargas trabajan con corriente alterna, monofásica o trifásica, lo que quiere decir que la configuración de la instalación tiene que lograr la transformación de los generadores fotovoltaicos a ca para el suministro al consumo y del grupo diésel a cc para la carga de baterías. Esta tarea se lleva a cabo por los inversores que tienen como objetivo la gestión de la generación y las cargas, transformando la energía eléctrica a razón de las necesidades.

En función del inversor utilizado se pueden distinguir distintas configuraciones:

- Sistemas híbridos aislados con regulador de carga: Configuración en cc.
- Sistemas híbridos aislados con inversor bidireccional: Configuración en ca.
- Sistemas híbridos aislados mixtos

3.3 Sistemas híbridos aislados con regulador de carga

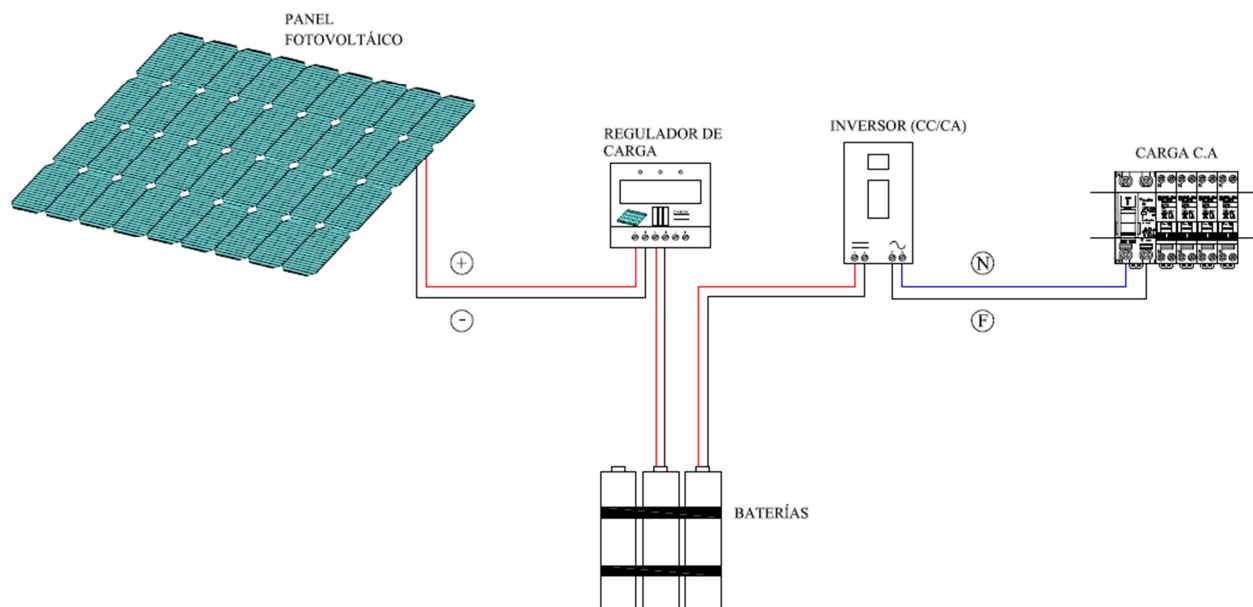


Figura 3.1 Sistema híbrido con REGULADOR DE CARGA

En estas instalaciones se genera una energía con los paneles fotovoltaicos que será controlada por el regulador de carga. El banco de baterías abastecerá la carga monofásica o trifásica a través del inversor sinusoidal aislado. Esta configuración fue de las primeras efectuadas.

El trabajo principal del regulador de carga es el de garantizar el correcto proceso de carga y descarga de las baterías. Debe proteger a las baterías de la sobrecarga o de la sobre descarga debido a que estas tienen límites de capacidad mínimos. En caso de sobrecarga, el regulador tiene que abrir el circuito en cc que conecta los generadores fotovoltaicos con el propio regulador. En caso de sobre descarga el circuito que se debe desconectar es el abastecedor de consumo a través del inversor. Además se pueden configurar sistemas de vigilancia y control que para garantizar una mayor vida útil de la batería como la seguridad en la instalación. Estas tecnologías de alarmas avisan en caso de sobrecarga, o de descarga por debajo de los niveles mínimos de seguridad.

Además de garantizar el correcto funcionamiento de la batería, los reguladores también pueden monitorizar los datos de funcionamiento, permitir la regulación de la tensión en

función de la temperatura, realizar el seguimiento del punto de máxima potencia del FV (Capítulo 2.1.2) e incluso el registro y monitorización de los datos de funcionamiento.

Los reguladores de carga trabajan mediante el control de tensión, sirviéndose de los datos obtenidos en la medición de tensión en bornes de la batería. Los métodos de control más utilizados el método serie y el método paralelo.

- Reguladores serie: se encargan de la apertura del circuito en caso de alcanzar unos niveles de tensión determinados. Además del interruptor colado entre el generador y el acumulador se dispone de otro interruptor de sobre descarga entre acumulador y carga.

El regulador serie puede actuar con la metodología de un interruptor simple (On/Off) abriendo el circuito ante un valor de tensión o puede utilizar regulación PWM con la que el regulador introduce pulsos de corriente a frecuencia variable de modo que la batería recibe un voltaje de carga constante del generador.

- Reguladores paralelo: se colocan en paralelo entre el generador y el acumulador un transistor de modo que cuando se supera un valor de tensión el regulador limita la corriente que llega al acumulador.

Las principales funciones de los reguladores la prevención de carga y sobrecarga en las baterías, además de la información del estado del sistema, niveles de tensión alcanzados, datos de la instalación, estado de carga, servir como mecanismo de control incluso como protección ante sobretensiones. Cada regulador de carga debe ser configurado según el tipo de baterías a regular, el tipo de instalación y sus necesidades, la potencia máxima de la instalación, los generadores fotovoltaicos, por ello cada uno se debe adecuar a la instalación.

En configuraciones de sistemas híbridos aislados con regulador de carga habitualmente se trabaja a tensiones de corriente continua de 12,24 o 48 V lo que limita la infraestructura de la instalación a sistemas de pequeñas potencias debido a la caída de tensión en grandes distancias.

3.4 Sistemas híbridos aislados con inversor bidireccional

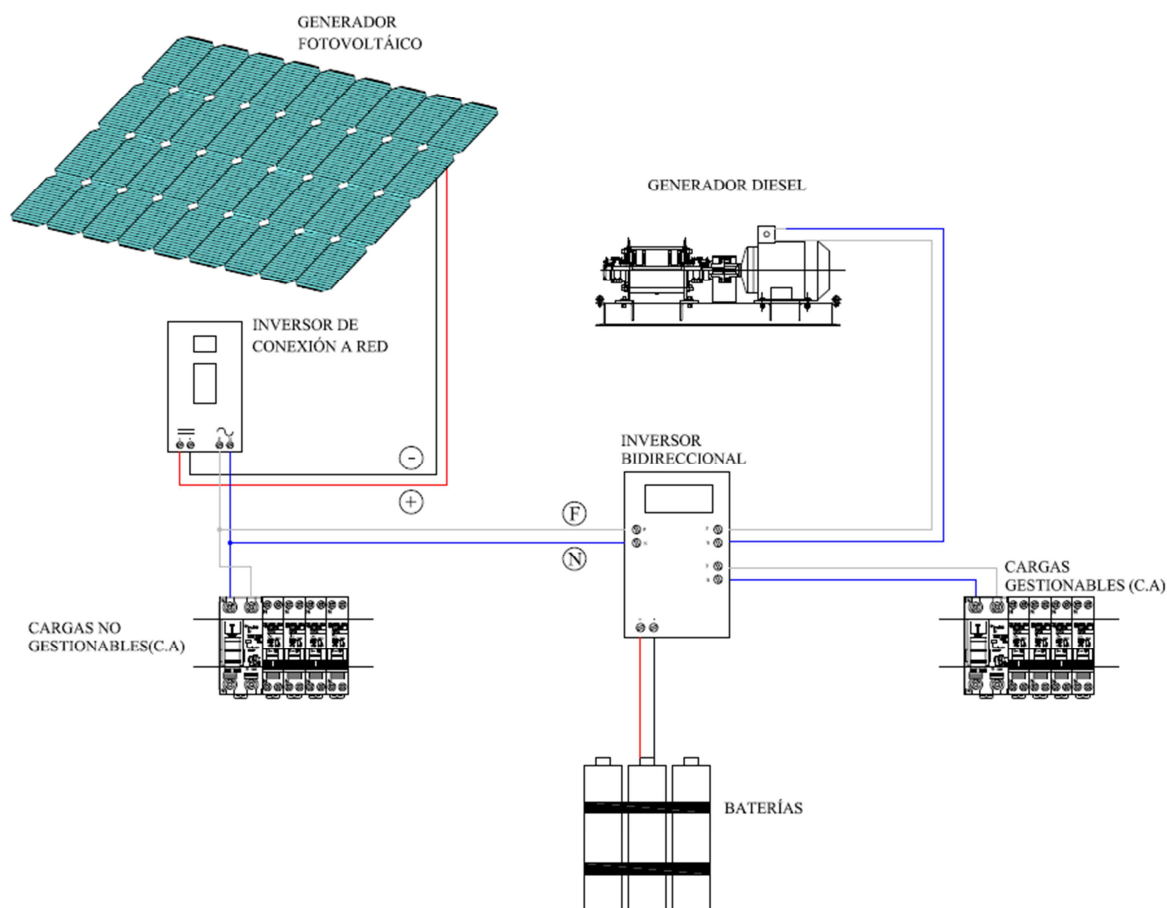


Figura 3.2 Sistema híbrido con INVERSOR BIDIRECCIONAL

Esta configuración realiza la carga de baterías utilizando la energía produce por el generador diésel, gestionándolo mediante un inversor bidireccional. El generador fotovoltaico genera una energía eléctrica en cc transformada por el inversor de conexión a red a ca. Mediante un circuito conectado entre el inversor y el consumo se crea el bus de corriente alterna utilizado para el abastecimiento de la carga. El inversor bidireccional actuará tanto de inversor (cc/ca) como de rectificador (ca/cc), de modo que en el momento en que la energía generada supere a la consumida por la carga, el inversor transformará la corriente alterna procedente del inversor de conexión a red en continua para derivar a la carga de baterías. Del mismo modo, en el momento que en que la generación, por parte del generador fotovoltaico, no fuera suficiente se descargarían las baterías. Estas baterías se cargan, con la gestión del inversor bidireccional, mediante la entrada en funcionamiento del generador de respaldo de combustible fósil.

El inversor bidireccional sólo podrá funcionar como inversor aislado para la descarga de baterías, en este momento no puede entrar el generador diésel para la carga de baterías, de modo que se evita un retorno energético al generador.

Con esta instalación se reducen las pérdidas debido a la conexión directa desde la generación al consumo, se reducen elementos. Mientras que con la conexión en cc se disponía del regulador de carga y el inversor aislado posteriormente, en acoplamiento en c.a se dispone de un único inversor de red desde los paneles hasta el consumo.

3.5 Sistemas híbridos aislados mixtos

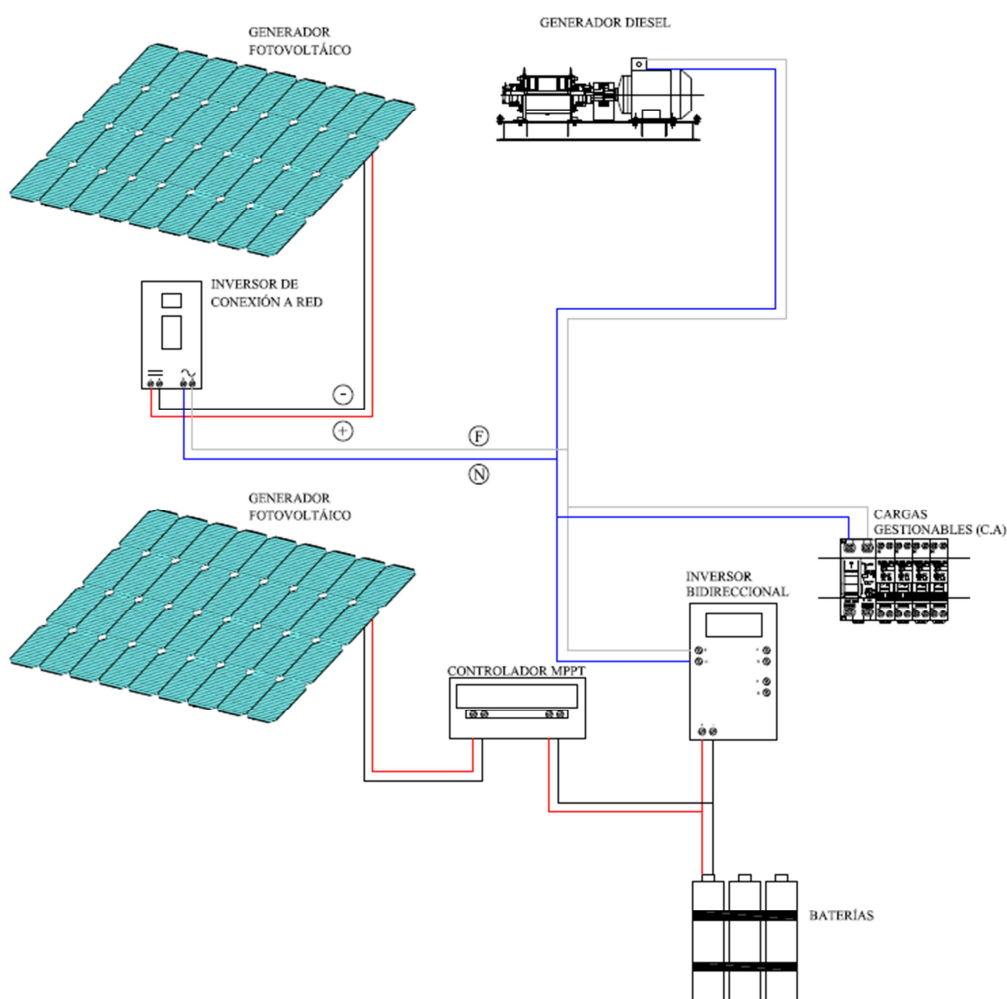


Figura 3.3 Sistema híbrido con CONFIGURACIÓN MIXTA

Es la combinación de las dos configuraciones descritas anteriormente. Con la configuración en cc se consigue una carga de baterías más eficiente y de la configuración en corriente alterna se consigue un uso más eficiente de la energía que proviene de los paneles al reducir

las pérdidas. Parte de la energía generada por los paneles fotovoltaicos se destina, a través del inversor con control de máxima potencia (MPPT), al bus de corriente continua para la carga de baterías. El resto se conecta al inversor de conexión a red para su directo en la carga. En paralelo a él se dispone el generador diésel como respaldo a la generación fotovoltaica, de modo que si en algún momento no hay suficiente energía para abastecer la carga con la almacenada en las baterías o con la del bus de corriente alterna, la producida por el generador será la encargada de abastecerla o de cargar las baterías a través del inversor bidireccional.

3.6 Sistemas híbridos aislados con inversor híbrido

Se caracterizan porque tienen conexión directa con todos los elementos de la conexión. En el caso de conexión a la red de distribución, el inversor se conecta a los generadores fotovoltaicos, al sistema de acumulación, a la red y al consumo. De modo que funciona como regulador de carga y como inversor bidireccional. Al igual que con entrada de red, con sistema de generación de apoyo, el inversor híbrido actuará como regulador de carga para el sistema de almacenamiento y como inversor bidireccional para convertir la energía en cc a energía en ca para el consumo y para convertir la potencia que proporciona el generador diésel para cargar las baterías en cc.

Para el caso que se está desarrollando se supondrá un sistema aislado, sin conexión a red de distribución, como se muestra en la siguiente figura:

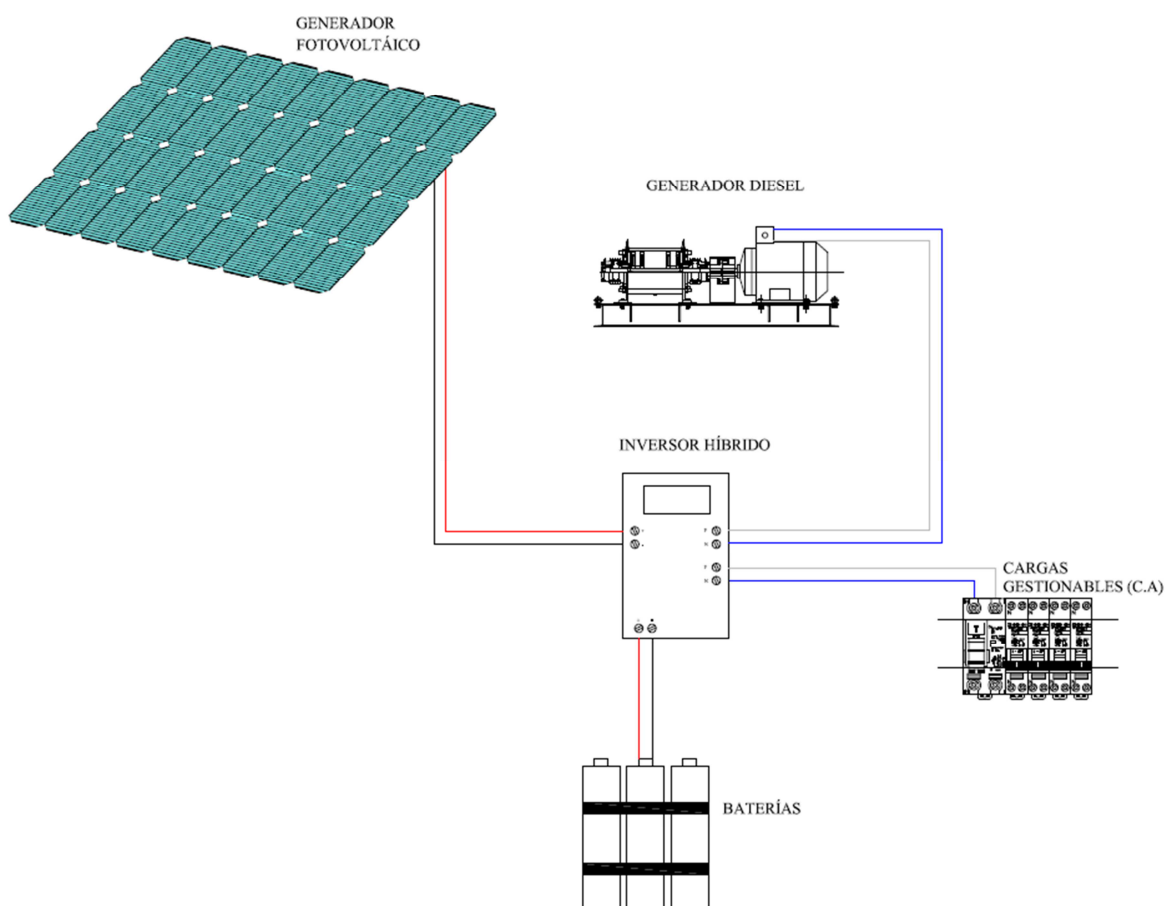


Figura 3.4 Sistema híbrido con INVERSOR HÍBRIDO

3.7 Descripción de elementos de sistemas híbridos

Como se ha visto anteriormente, los sistemas híbridos tienen flexibilidad a la hora del diseño de las instalaciones. Para la realización del proyecto se ha decidido una configuración con los paneles fotovoltaicos y el generador diésel de apoyo como medio de generación, sin conexión a la red de distribución, combinado con un sistema de almacenamiento. Según ha ido evolucionando el trabajo se han podido ver las distintas energías renovables, profundizando en el recurso fotovoltaico y su tecnología de generación, así como los sistemas híbridos y sus distintas configuraciones.

A lo largo de este subcapítulo, se entrará en detalle en los elementos que se van a combinar para el dimensionado de un sistema autónomo con la ayuda del programa iHoga. La tecnología de generación de los paneles fotovoltaicos ha sido desarrollada a lo largo del capítulo 2 (subcapítulo 2.1.2), por lo que se procederá a la introducción de los elementos restantes de la instalación: inversores, sistemas de acumulación y generador de apoyo.

3.7.1. Inversores

Son los encargados de la transformación de la energía que proviene de los generadores fotovoltaicos en corriente continua a corriente alterna. Pueden ser trifásicos o monofásicos, y en función de las necesidades de la instalación tienen unos niveles de tensión u otros. En sistemas de autoconsumo los inversores pueden estar conectados a las baterías (y estas a un regulador de carga) o conectados directamente a los paneles fotovoltaicos.

La función de los inversores es la conversión de la generación a corriente alterna, la modulación de tensión de salida y el control sobre el valor eficaz de la tensión de salida. El contenido de armónicos de la señal de salida influye directamente sobre el rendimiento del inversor y sobre la carga que se conectará a ellos.

La mayoría de los inversores consiguen la transformación de corriente continua a alterna haciendo pasar la corriente por un transformador primero en una dirección y luego en otra, en ciclos de 100 veces por segundo para conseguir una frecuencia de salida de 50 Hz.

En inversores de onda cuadrada la señal de salida tiene un gran contenido de armónicos debido a la baja modulación. Obtienen rendimientos de inversión muy bajos y su tanto la regulación de voltaje como la potencia de sobrecarga tienen valores muy reducidos. A estos se suelen conectar cargas puramente resistivas o con un peso inductivo muy bajo.

En inversores semi-senoidales, se consigue una onda casi perfecta con una distorsión armónica del 20 %, pero dan mejor resultado de rendimiento que los de onda cuadrada. Se pueden utilizar para alimentar cargas sin alto contenido de cargas inductivas.

Los inversores sinusoidales no presentan ningún problema con la distorsión armónica, la señal de salida se aproxima a la onda senoidal. Su uso es válido para cualquier tipo de cargas debido a la limpieza en la señal y la estabilidad de tensión que ofrecen. En cargas como

motores o con instrumentación delicada son los más utilizados. La regulación del valor eficaz de la tensión se suele realizar mediante PWM (modulación ancho de pulso), es un sistema de modulación de la señal de salida variando los pulsos de la onda al igual que lo hace el valor de tensión en cc a la entrada del inversor.

A parte de la transformación de la corriente, a los inversores se les exige también protección y seguridad. Estos inversores deben trabajar con unos valores de entrada de la corriente continua variable y garantizar la calidad de onda en la salida del mismo. Además deben poseer herramientas de control del sistema y monitorización de la información.

- *Inversor fotovoltaico autónomo:*

Se sitúan por detrás del sistema de acumulación y antes de la carga transformando de corriente continua a alterna para su posterior consumo.

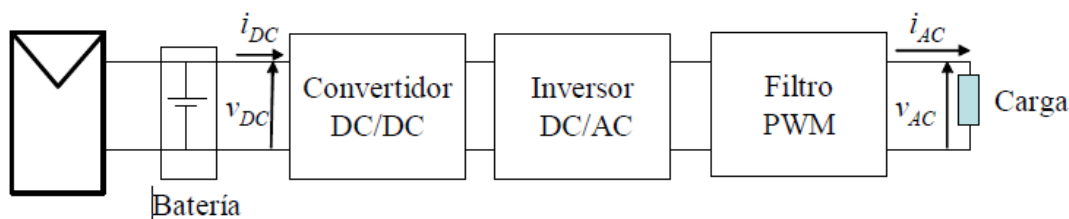


Figura 3.5 Inversor fotovoltaico autónomo

Se componen de un convertidor, un inversor y el filtro PWM. Mediante el convertidor cc/cc se eleva la tensión de la batería hasta el valor que asegure el valor de tensión en alterna requerido a la salida del inversor y para reducir el tamaño del transformador. Posteriormente se dispone de un inversor de puente completo con control senoidal PWM.

Para mantener constantes los valores de tensión a la salida se controlará el tiempo de trabajo, reduciéndolos en caso de aumento de tensión en la batería o aumentándolos con el descenso de la tensión de la batería.

Es habitual que estos inversores incorporen un regulador de carga para proteger el sistema almacenamiento ante sobrecargas o sobre descargas. Aun utilizando inversores con reguladores de carga incorporados es necesario mantener el regulador de carga entre los paneles fotovoltaicos y las baterías. Estos inversores, al igual que los reguladores de carga descritos anteriormente, pueden disponer de sistemas de monitorización y visualización.

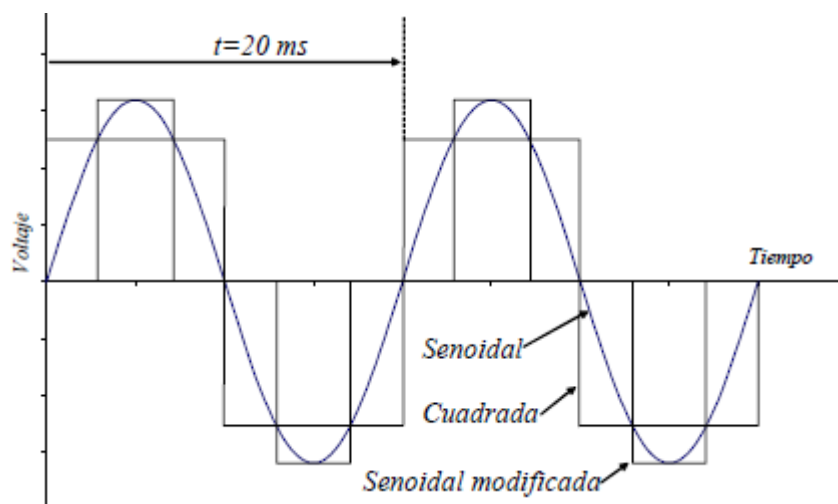


Figura 3.6 Onda de salida inversores fotovoltaicos

La onda de salida del inversor puede ser cuadrática, senoidal modificada o senoidal. Los inversores de onda senoidal pura hasta hace poco eran equipos inaccesibles económicamente hablando y con valores de eficiencia muy reducidos. Sin embargo, la evolución de la tecnología ha conseguido aumentar el rendimiento de estos inversores y como en instalaciones con cargas inductivas o con equipos muy sofisticados es necesaria una señal limpia de armónicos, el uso de este tipo de equipos está desbancando a los sinodales modificados y a los cuadráticos.

- *Inversor fotovoltaico de conexión a red:*

En este caso el inversor estará conectado directamente a los paneles fotovoltaicos y a la red en corriente alterna. Se consiguen reducir las pérdidas mediante la reducción de elementos, se prescinde del regulador de carga y se agiliza el consumo de la energía generada por los paneles con la conexión mediante el inversor de red a la carga.

Para optimizar el uso de la potencia generada por los paneles el inversor de conexión a red deben seguir el punto de máxima potencia del panel. Como se vio en el capítulo 2.1.2 el punto de máxima potencia depende de la irradiación, las condiciones ambientales, la temperatura y la potencia máxima que se puede obtener del generador se representa en la curva I-V (Figura 2.6). El rendimiento del inversor en el seguimiento del punto de máxima potencia es la relación entre la Potencia que se obtiene y la que se podría obtener idealmente.

$$\eta_{PMP} = \frac{P_{REAL}}{P_{IDEAL}}$$

Los inversores utilizan el método de perturbación y medida, consiste en la modificación de la tensión y la posterior medida del incremento de potencia. En caso de ser positivo se continúa la modificación de la tensión en ese sentido hasta encontrar el punto de inflexión en que vuelve a caer la potencia, el máximo. Este método es el más común, también se utilizan otros como el método de conducta incremental que observa que mide el valor de $\Delta P/\Delta V$, o los métodos de voltaje constante y voltaje corregido. Ante cambios bruscos de irradiación, por ejemplo con el paso de nubes, al inversor se le hace más difícil el seguimiento del punto de máxima potencia, una solución es incluir diferentes tiempos de perturbación de la tensión, de este modo toma más valores de la potencia y no retrocede en caso de que en una serie ascendente de resultados obtenga un resultado descendente.

Es importante, en cuanto normativa de conexión a red, cumplir los márgenes de tensión y frecuencia en los que se deben trabajar. Además la distorsión armónica de la onda de tensión no debe superar el 2% y un 5% la de corriente. Otro requisito es un aislamiento galvánico entre la red y el parque de generación, mediante transformadores de baja o de alta frecuencia.

3.7.2. *Sistemas de acumulación. Baterías*

En los sistemas autónomos las baterías se utilizan como sistema de almacenamiento y su función principal es cubrir la demanda de energía cuando los paneles fotovoltaicos por si mismos no pueden generar la energía suficiente. En instalaciones con cargas inductivas actuarán como apoyo en los picos de arranque y como estabilizadores de tensión.

Los sistemas de almacenamiento se pueden distinguir por la técnica utilizada: Electroquímicos, mecánicos, eléctricos, térmicos o químicos. Las tecnologías aptas en aportaciones a corto plazo son los sistemas electroquímicos y los volantes de inercia. En largos periodos de suministro a largo plazo, es decir, largos períodos hasta la descarga se utilizan, el hidrógeno y el gas natural sintético.

- *Sistemas de almacenamiento electroquímicos:*

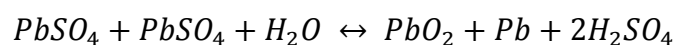
Utilizan las reacciones químicas de reducción y oxidación donde se produce un intercambio de electrones para conducir electricidad. La reducción de una especie y la oxidación de la otra permiten la captación de electrones por medio del reductor. Estos sistemas son baterías, electrolizadores y las pilas de combustible.

Los electrolizadores fuerzan la oxidación del oxígeno y reducen el hidrógeno que se encuentra en el agua. En pilas de combustible se reduce oxígeno y se oxida el hidrogeno.

Debido a los resultados obtenidos y a la relación calidad-precio, salvo en excepciones como el sistema de bombeo con paneles, se utilizan baterías como sistema de acumulación de energía.

- *Baterías Plomo-Ácido:* son las más utilizadas en sistemas híbridos. Están formadas por una serie de placas de plomo con distinta polaridad dispuestas alternadamente. Estas están envueltas por el electrolito, una disolución de ácido sulfúrico y agua destilada.

Mediante un proceso electroquímico reversible se consiguen los dos procesos de la batería, el de carga y el de descarga. En el proceso de carga el generador al que está conectada aporta una corriente continua en los bornes de la batería. El sulfato de plomo es reducido a plomo metal formando óxido de plomo. Durante la descarga se demanda una energía que desencadena dos procesos. El óxido de plomo se reduce y el plomo se oxida para producir sulfato de plomo.



Proceso de carga \leftrightarrow *Proceso de descarga*

En la batería el electrolito participa activamente variando la proporción de ácido de la solución al mismo tiempo que varía el estado de la carga, a mayor carga se aumenta la cantidad de ácido que hay en el activador.

Las tres características principales son la cantidad de energía almacenable (Wh), la profundidad descarga a la que puede hacer frente y la descarga máxima de corriente. La profundidad de descarga es la cantidad de energía que puede extraerse de una batería y viene dado en %. La capacidad de una batería de mantener el régimen de descarga se define en Ah.

La temperatura del electrolito y la carga de la batería determinan el valor de la tensión de la salida. El valor del voltaje es menor cuando la temperatura disminuye, la reacción química se acelera cuando se aumenta la temperatura y se retrasa cuando disminuye la temperatura.

En las siguientes figuras se puede observar las curvas características de carga y descarga de la batería plomo-ácido a 12V. Se manejan las tres variables, el voltaje (V), el % de carga y es correspondiente a una temperatura de 25°C.

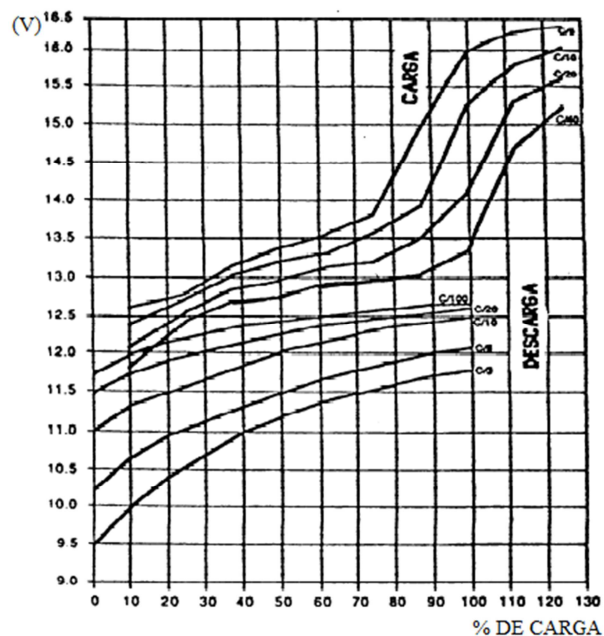


Figura 3.7 Curvas carga y descarga batería Pb-Ácido 25 °C (Fuente: revista Homer Power)

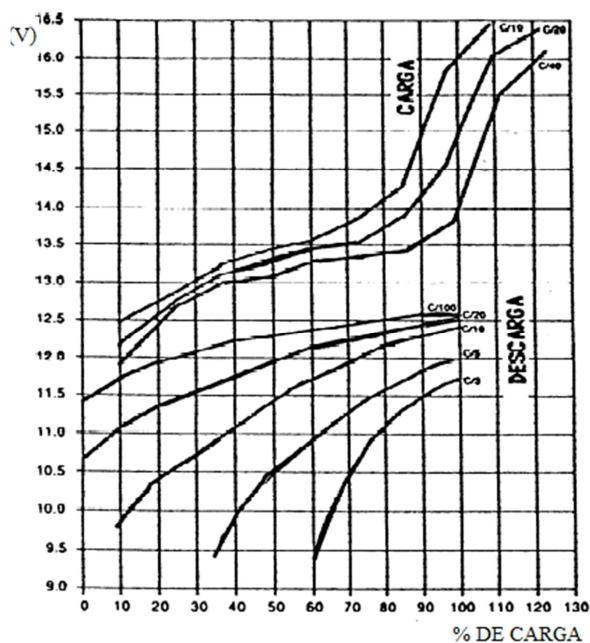


Figura 3.8 Curvas carga y descarga batería Pb-Ácido 1°C (Fuente: revista Homer Power)

En las figuras tomadas de la revista Homer power, de los ensayos con baterías de distintas capacidades se muestran gráficamente los procesos de carga y descarga a distintas temperaturas. Se puede observar que las tensiones para una misma batería y con el mismo estado de carga, disminuyen cuando la temperatura es menor. Sin embargo, al aumentar la actividad química de la batería, cuanto mayor sea la temperatura ambiente, la vida útil de la batería se verá reducida notablemente.

Si bien es cierto que estas baterías son más económicas y obtienen grandes resultados en los sistemas autónomos, también tienen sus inconvenientes. Durante la vida útil de la batería se pueden producir una serie de fenómenos que pueden dejar inutilizable la batería. En caso de que el proceso de carga no sea controlado, cuando la carga se aproxima al 100%, se reducen las moléculas de agua del electrolito los iones de hidrógeno y oxígeno de reaccionar, produciendo un fenómeno que se conoce como gasificación. También se puede producir la muerte de la batería si un exceso de oxígeno oxida los componentes de plomo de las celdas.

En emplazamientos con largos períodos del día nublados la batería está expuesta a períodos de baja carga y puede llevar a que la batería pierda parte de su capacidad por el fenómeno de la cristalización del sulfato de plomo. Otros como la descarga son comunes en baterías cargadas que permanecen inutilizadas mucho tiempo. El tiempo de vida de las baterías depende de las condiciones de temperatura, su mantenimiento (electrolito) y disminuirá si se sobrecargas o sobre descargas habitualmente.

Las baterías suelen estar compuestas por elementos de 2V que conectados en serie alcanzan la tensión de trabajo, típicamente 12,24 o 48V. La capacidad obtenida de la conexión en serie se mantiene constante, sin embargo, con la conexión en paralelo se consigue la suma de cada una de las capacidades, dando como resultado un conjunto mayor. Se debe encontrar el equilibrio entre el número de elementos en serie y en paralelo para la construcción de un sistema de almacenamiento que funcione a la tensión de trabajo del sistema y tenga capacidad suficiente para garantizar la autonomía de la instalación.

Es interesante ver también otras tecnologías electroquímicas que se utilizan para sistemas de almacenamiento con cortos períodos de tiempo entre carga y descarga (minutos u horas).

- *Baterías Sodio-Azufre:* en el proceso de descarga ambos materiales se reducen. El electrolito conduce los iones positivos del sodio hasta el cátodo para la reacción del azufre. La evolución de esta tecnología ha derivado en las baterías sodio-níquel-cloro. De nuevo será el electrolito formado por β -alúmina será el encargado de conducir los iones positivos de sodio desde el ánodo al cátodo, sólo que en este caso el ánodo está compuesto por sodio/cloruro de sodio y el cátodo por níquel/cloruro de níquel. Durante la carga el cloruro de sodio se reduce a sodio fundido y el níquel se oxida a cloruro de níquel. Aunque todavía no se utilizan en aplicaciones su introducción en el mercado será progresiva.
- *Baterías Litio-Grafito:* en estas baterías durante la carga se produce la oxidación del litio que libera electrones e iones positivos. El electrolito se encarga de su

transporte hasta el grafito para su reducción. Suelen tener un rendimiento cercano al 90%.

- *Baterías de vanadio:* son el futuro de los sistemas de almacenamiento. Tras años de desarrollo demuestran su capacidad de respuesta en carga/descarga. Son capaces de suministrar largos períodos de carga gracias al almacenamiento del electrolito en tanques, gracias a ello las pérdidas por auto descarga son mínimas. Se pueden adaptar a sistemas híbridos autónomos o como generadores en sistemas de alimentación ininterrumpida o ayuda a la calidad de suministro.

- *Sistemas de almacenamiento mecánicos:*

Haciendo uso de la energía potencial y la energía cinética consiguen el almacenamiento de energía. Se clasifican en aire comprimido, bombeo y volante de inercia.

Como ya se ha señalado el volante de inercia, dentro de sistemas mecánicos, es el más utilizado para cortos períodos de tiempo. Se utilizan principalmente en la regulación primaria frecuencia-potencia para sistemas eléctricos. Son capaces de almacenar energía cinética, y aunque no esté introducido comercialmente, su relevancia en un futuro hacen de ellos sistemas dignos de mencionar.

- *Sistemas de almacenamiento químicos:*

Las pilas de combustible son cada vez más utilizadas en instalaciones autónomas. Su principal ventaja es la acumulación de energía durante largos períodos de tiempo. Mediante hidrólisis del agua se separa el oxígeno del hidrógeno que tiene un alto poder calorífico. En momentos de baja demanda se obtiene el hidrógeno, y en momentos de alta demanda se convertirá la energía calorífica que contiene el hidrógeno en energía eléctrica. Esta conversión se lleva a cabo por turbinas basadas en la combustión. Su principal ventaja es que no tiene que ser recargado, sin embargo, no ofrece los mismos rendimientos que otros sistemas de acumulación.

Otro método basado en la combustión de un gas natural sintético. Se crea mediante la descomposición anaeróbica de material orgánico de la que resultan metano, hidrógeno,

oxígeno y dióxido de carbono. La tecnología utilizada es la misma que as pilas de combustible, sin embargo, el recurso utilizado proviene de distintos procesos.

Otras tecnologías menos utilizadas en este ámbito son los condensadores, los sistemas de almacenamiento magnéticos o los sistemas térmicos. Para el caso que se está llevando a cabo no es necesario introducirse en terrenos que desviarían la atención del tema principal.

3.7.3. Sistemas de apoyo de combustible fósil:

El generador de corriente alterna convierte la energía mecánica en energía eléctrica. Se sirven de la energía liberada por la combustión de un material para generar la energía mecánica. Posteriormente mediante el alternador se obtiene energía eléctrica en corriente alterna. Estos grupos pueden funcionar con combustible fósil como diésel o gasolina, o con combustibles alternativos como la biomasa o hidrógeno.

Los más utilizados, y los que se emplearán en este proyecto, son los grupos electrógenos diésel o gasolina. Su uso principal ha sido como apoyo en instalaciones eléctricas conectadas a la red de distribución. En sitios como hospitales en el que no se puede permitir la interrupción del servicio la legislación obliga a la instalación de grupos de apoyo para garantizar la continuidad del suministro.

Una nueva aplicación para estos grupos electrógenos son los sistemas de apoyo a las energías renovables. Su función principal es el de la carga de baterías cuando el generador no haya sido capaz de ello. Se definen por su potencia en KVA y, como se verá durante el capítulo de dimensionado, su elección dependerá de la potencia instalada y su precio. Uno de los parámetros más importantes es la inflación anual del precio de combustible, en el dimensionado es un factor a tener en cuenta para considerar la opción más económica.

4. DIMENSIONADO SISTEMA HÍBRIDO

A lo largo del capítulo se describirán las distintas herramientas que proporciona el programa para poder realizar una comparación de resultados en función de la variación de los algunos elementos o en función de la configuración. Para llevarlo a cabo se dispone de la herramienta de simulación iHOGA, desarrollada por Dr. Rodolfo Dufo López del departamento de ingeniería eléctrica de la Universidad de Zaragoza.

El programa ofrece la posibilidad de dimensionar una instalación combinando distintas tecnologías de generación y control. Para el caso que se está desarrollando, como ya se ha señalado a lo largo del proyecto, dimensionaremos una instalación con paneles fotovoltaicos, sistema de acumulación y grupo de apoyo de combustión fósil.

Antes del análisis de los distintos casos con los que se van a trabajar es necesario describir algunos parámetros fijos y variables en función de cada caso, y la estrategia a seguir que se ha elegido.

Principalmente es necesario disculparse por la imposibilidad de obtener la versión completa del programa, lo que implica alguna limitación en el dimensionado que se irá señalando.

4.1 Irradiación

El objetivo es diseñar una instalación autónoma para una pequeña infraestructura agraria situada en Los llanos del Caudillo, Ciudad Real (39.1388,-3.3436). Para este emplazamiento se obtienen unos valores de los recursos de irradiación, temperatura, velocidad del viento, humedad relativa, presión atmosférica, etc. Para el caso a desarrollar, los datos de irradiación proporcionados por la web NASA son:

Tabla 4.1 Datos de irradiación por mes de web NASA

MES	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
<i>kWh/m²/d</i>	<i>2,21</i>	<i>3,15</i>	<i>4,44</i>	<i>5,31</i>	<i>6,14</i>	<i>7,15</i>	<i>7,29</i>	<i>6,33</i>	<i>4,91</i>	<i>3,28</i>	<i>2,31</i>	<i>1,85</i>

El seguimiento solar de los paneles se puede seleccionar en eje horizontal, eje vertical, en ambos o sin él y fijar los costes de instalación. En caso de no tener seguimiento en ningún eje será el programa el que calcule la inclinación óptima para la captación más eficiente del recurso.

Se pueden incluir obstáculos en el terreno que pudieran hacer sombra a los paneles durante algunos momentos del día. Debido al tipo de terreno en el que se trabaja, no se ha señalado ninguno para el cálculo del dimensionado. Otra de las posibilidades es elegir un método de cálculo con variabilidad estadística (Graham). El método recomendado y utilizado es Collares Pereira y Rabl.

4.2 Demanda

Dentro del dimensionado, a medida que se avance en el estudio, hay parámetros que se mantendrán constantes y otros que se variaran para la generación de distintos casos. Uno de estos parámetros constantes es la distribución de demanda. La versión educativa del programa permite una distribución de demanda que no supere los 10 kWh/día. El concepto de instalación que se quiere llevar a cabo, es una infraestructura con un pequeño taller, almacén de materias primas, explotación a nivel particular de animales y zona habitable con comedor. Los consumos principales son la ventilación en la zona de animales y materias primas que funciona constantemente para la renovación del aire y mantener la temperatura en un valor indicado, los consumos varios de las herramientas, la iluminación y el uso del comedor en momentos puntuales. Teniendo en cuenta todas las cargas, el valor de Energía mensual no supera el límite impuesto por la versión del programa. La energía diaria consumida es 9,25 kWh/día. Aunque la actividad principal del negocio se desarrolla a lo largo de la semana, algunos de los consumos como la ventilación o la iluminación están automatizadas, por lo que se supone un factor de reducción por fin de semana de 0,6, es decir, se reduce un 40% el consumo. El programa muestra el consumo medio por día graficado en Potencia frente a tiempo en horas.

Tabla 4.2 Distribución demanda diaria

0-1h	1-2h	2-3h	3-4h	4-5h	5-6h	6-7h	7-8h	8-9h	9-10h	10-11h
50W	50W	50W	50W	250W	410W	600W	950W	950W	950W	950W
12-13h	13-14h	14-15h	15-16h	16-17h	17-18h	19-20h	20-21h	21-22h	22-23h	23-24h
410W	950W	950W	950W	950W	410W	250W	50W	50W	50W	50W

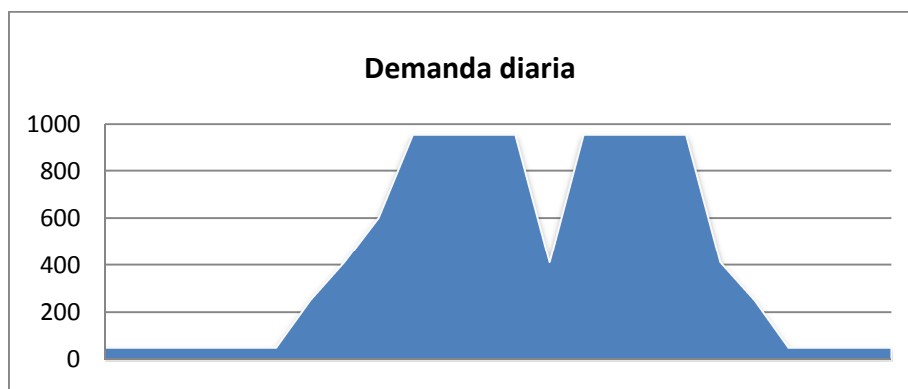


Figura 4.1 Distribución de demanda diaria

Potencia AC máx. Demanda en el año: 978W, 1151 VA

Potencia AC media horaria: 385W, 453 VA

4.3 Componentes de la instalación

4.4.1. Paneles fotovoltaicos

Una vez descrito durante el capítulo 2 la tecnología utilizada por los paneles para la generación de energía, hay que estudiar el método óptimo de combinarlos para conseguir el comportamiento deseado. Cada panel individualmente tiene como características una tensión nominal y una intensidad de cortocircuito de los ensayos de vacío y cortocircuito respectivamente. Los paneles resultan de la combinación de células que proporcionan una tensión de salida alrededor de 0,6V, si se utilizan 36 células en serie la tensión del panel son 21,6 V, la tensión de máxima potencia unos 17V y la tensión nominal 12V. También son muy comunes paneles con tensión nominal de 24 V.

La parte de continua de la instalación tiene una tensión de funcionamiento que puede ser 12, 24 48V dependiendo de la demanda de la instalación. La tensión de la instalación, al igual que la potencia a suministrar influye directamente sobre la cantidad de paneles a instalar. Como fuente de tensión, una rama con varios paneles en serie suman sus tensiones, es decir, con una tensión del sistema de 24 V se necesitarían dos paneles en serie de 12V. Como fuente de intensidad, la combinación de los paneles en paralelo suma el valor de las intensidades de ambas ramas, permitiendo el abastecimiento de una carga mayor. A lo largo del dimensionado de los distintos casos, se verá cómo influyen la tensión del sistema en continua y la tensión nominal de los paneles en los costes de inversión.

Además de la posibilidad de la elección de paneles con distintas tensiones y de fabricantes varios, el programa permite fijar otra serie de parámetros que aproximan la simulación al comportamiento real que podría tener la instalación. Uno de ellos es el factor de seguridad (FS) es el encargado de tener en cuenta la suciedad de los paneles, errores en orientación o el sombreado inesperado, imprevistos normales en todas las instalaciones. En este caso, teniendo en cuenta el tipo de terreno se puede predecir un alto grado de suciedad por el la tierra y el viento, su valor es de 1,3 para todas las simulaciones. Otro parámetro es el coste del mantenimiento de estos paneles, que es un coste fijo anual. Teniendo en cuenta que es una instalación de baja potencia estos costes pueden rondar los 50€, sin embargo en grandes

instalaciones con paneles solares el coste del mantenimiento se suele calcular como el 5% de la inversión total de instalación.

- *Sistemas de seguimiento de máxima potencia MPPT:*

La diferencia entre seleccionar o no el seguimiento de máxima potencia principalmente es el valor de la potencia del panel seleccionada para el cálculo.

- Sin seguimiento de máxima potencia: como se ha indicado anteriormente el número de paneles es la tensión nominal de cada panel multiplicado por el número de paneles en serie.

$$V_{dc} = V_n \cdot n_{panel\ serie} \quad (4.1)$$

Seleccionando esta opción la potencia del panel se calcula como:

$$P = \frac{I \cdot V_n \cdot G \cdot n_{panel\ serie} \cdot n_{panel\ paralelo}}{FS} \quad (4.2)$$

- Con seguimiento de máxima potencia: el regulado de carga dispone de un sistema que garantiza el funcionamiento de los paneles generando la máxima potencia posible.

Si no se tiene en cuenta el efecto de la temperatura ambiente para el cálculo, la potencia se calculará del mismo modo que en el caso anterior con la única diferencia que se utiliza la potencia pico (Wp):

$$P = P_p \cdot \frac{G \cdot n_{panel\ serie} \cdot n_{panel\ paralelo}}{FS} \quad (4.3)$$

Teniendo en cuenta el efecto de la temperatura de los paneles la potencia de los paneles se calculará:

$$P = P_n \cdot \left(1 + \frac{1 + Ct}{100 \cdot (t_c - 25)}\right) \cdot \frac{G \cdot n_{panel\ serie} \cdot n_{panel\ paralelo}}{FS} \quad (4.4)$$

Siendo T_c la temperatura interna de la célula:

$$T_c = T_{amb} + G \cdot (T_{ONC} - 20)/800 \quad (4.5)$$

En grandes instalaciones la tensión se puede utilizar en los cálculos de potencia la tensión máxima que alcanza el panel. Como se ha indicado anteriormente, aunque la tensión nominal del panel sea por ejemplo 12 V la máxima tensión que alcanza es alrededor de 17V. Esta opción permite tener en cuenta esta diferencia a través de la relación entre tensión máxima y nominal ($17/12 = 1,417$). Aunque no se utilice en ninguna de las simulaciones es interesante reseñarlo.

4.4.2. Baterías

En los sistemas fotovoltaicos se utilizan acumuladores electroquímicos, las baterías plomo-ácido son las más comunes y las utilizadas para el dimensionado de la instalación. Además del suministro de potencia, la batería se encarga de mantener un nivel de tensión constante.

Cada módulo de batería por separado tiene una tensión de salida de 2V aproximadamente, luego se deben conectar en serie para aumentar la tensión hasta la del sistema. En función de la potencia pico, la energía consumida y los días de autonomía, se conectarán otras en paralelo.

El programa calculará el número de baterías como:

$$n = \frac{d[Wh/día] \cdot DA[días] \cdot C_s}{C_N[Ah] \cdot DOD \cdot F_t \cdot V_N[V]} \quad (4.6)$$

d: demanda diaria

DA: días de autonomía

Cs: coeficiente de seguridad

Cn: capacidad nominal

DOD: profundidad de descarga máxima

Ft: factor de corrección de la temperatura

Vn: tensión nominal

La característica fundamental de las baterías es la capacidad. Deben ser capaces de suministrar la potencia máxima de la instalación y garantizar los días de autonomía descritos para la instalación. Los ciclos de carga y descarga se repiten todos los días, luego hay que diseñarla para no llegar a la profundidad de descarga máxima. Esta capacidad se mide en Ah y los fabricantes dan la capacidad para descarga en horas C_{10} , C_{20} , ... siendo más rápida el ciclo de carga/descarga más rápido para el primero (10 horas) que para el segundo (20 horas). La intensidad máxima que soportará la batería será relación de la capacidad máxima, normalmente el 20%.

La norma técnica universal para sistemas fotovoltaicos domésticos fija un valor de profundidad de descarga máximo (PD) del 80% de la capacidad total. El estado de carga mínimo (SOCmín) se tomará como porcentaje de la PD máximo. Además, para cada batería se debe colocar el número de ciclos de vida para cada porcentaje de profundidad de descarga. El programa se encargará de calcular la energía ciclada en la vida de las baterías, siempre y cuando $PD < (100 - SOCmín)$, para valores superiores nunca operará la batería.

$$E_{ciclada_i} (kWh) = C_n(Ah) \cdot V_n(V) \cdot Prof_i(\%) / 100 \cdot Ciclos_i / 1000 \quad (4.7)$$

Y el número de ciclos equivalentes se calcula como:

$$N_{ciclos_{eq}} = \sum E_{ciclada_i} \cdot 1000 / C_n(Ah) \cdot V_n(V) \quad (4.8)$$

El tipo de batería a utilizar en este trabajo es la OPZS (tubular optimizada plomo-ácido abierta) que es la que mejor rendimiento ofrece en sistemas fotovoltaicos.

Dentro del capítulo de baterías se debe elegir un modelo de vida. Seleccionando rainflow se tiene en cuenta el estado de carga medio durante cada ciclo. Cuando una batería comienza el ciclo de descarga completamente cargada tiene un desgaste notablemente inferior que si comienza el ciclo con un estado de carga por debajo del 100%. El método busca tener en cuenta este desgaste cuando las baterías no comienzan completamente cargadas.

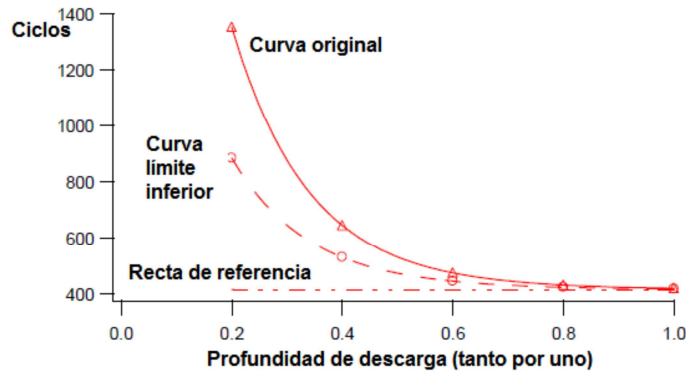


Figura 4.2 Curva ciclos-Profundidad descarga (Cedida por Manual iHoga)

El fabricante debe proporcionar la curva original de ciclos frente a la profundidad de descarga. Con el rainflow se consigue una curva límite inferior, para los ciclos que comienzan y finalizan en el mínimo estado de carga posible. Esta curva será calculada por iHoga como:

$$C_{F,L} = F(C_F - C_{F,R}) + C_{F,R} \quad (4.9)$$

Donde F es el factor de rainflow, $C_{F,R}$ es la recta de referencia y C_F son los ciclos de descarga frente a la profundidad de descarga.

4.4.3. Inversores

Al igual que sucede con los reguladores de carga, en los inversores se seleccionarán los tipos comerciales, y una vez diseñada la instalación en cuanto consumo, paneles y baterías será el programa el que pre dimensionará la instalación con los elementos descritos.

Para la preselección de una serie de inversores se debe tener en cuenta la compatibilidad con la tensión de trabajo del sistema. Además se puede seleccionar la funcionalidad como cargador de baterías fijando la corriente máxima de carga de las baterías. Si se utilizan inversores bidireccionales o inversor-cargador se puede incluir la gestión de renovables, con seguimiento del punto de máxima potencia MPPT.

Si se selecciona forzar a que el inversor pueda dar la máxima potencia, implica que se seleccione el inversor de mínima potencia que proporcione la máxima potencia requerida en

AC. Será el programa el que muestre la máxima potencia demanda por las cargas y el inversor adecuado para la instalación. En caso de no seleccionar esta casilla, será el programa el que haga distintas combinaciones hasta encontrar el que cumpla las condiciones impuestas a la instalación. Por ejemplo, un inversor de baja potencia que no cumpla con la restricción de energías máxima no suministrada, que se verá a continuación, será descartado como solución al dimensionado de la instalación.

El esquema que se diseñará incluirá un inversor que se pueda ver forzado a dar la máxima potencia, esto implicaría que si no se puede abastecer la carga a través del inversor y el generador de AC por cualquier motivo no puede suministrarlo, la demanda de energía no sería cubierta.

4.4.4. Regulador de carga

Para garantizar la seguridad en las baterías y evitar sobre intensidades que provocarán gasificación y calentamiento reduciendo notablemente su tiempo de vida, es necesario la instalación del regulador de carga. El dispositivo controla la corriente que se inyecta a la batería. Al igual que las sobrecargas, como se ha indicado en capítulos anteriores, la función del regulador también será la de evitar la descarga por debajo del valor de carga mínima. Para el control de la tensión en las baterías se pueden disponer de estos dispositivos en serie o en paralelo, de modo, que ante una posible sobrecarga se desconectan las baterías del generador y ante posible sobre descarga se desconecta la batería el consumo.

Se ofrece la posibilidad de elegir inversores bidireccionales con control de carga, estos equipos serán totalmente compatibles con los reguladores de carga y su instalación no exime la instalación del regulador por motivos de seguridad de funcionamiento.

4.4.5. Generador AC

Se da la opción de elegir distintas familias de generadores en AC, tanto generadores diésel como gasolina con distintas potencias nominales. A parte del precio del generador, se tiene en cuenta el consumo de combustible por KW que suministra el generador. En función de la previsión de horas de funcionamiento del generador y del precio de adquisición la herramienta seleccionará un grupo de apoyo u otro.

Para ello se sirve de dos parámetros ambos basados en las unidades de combustible necesaria para la generación de 1 kWh basados en los ensayos de un generador diésel según Skarstein and Ullen, 1989.

La curva de consumo se representará como:

$$\text{Consumo} \left(\frac{\text{litro}}{h} \right) = P_n(kW) \cdot B + P(kW) \cdot A \quad (4.10)$$

La inflación esperada del precio del combustible se trata de forma separada dentro de la herramienta por motivos obvios. La inflación esperada para el precio de los materiales o de la mano de obra tendrá un aumento mucho más progresivo que la esperada para el combustible. Por ello, se tienen en cuenta con valores distintos para calcular el coste total de instalación.

Por otro lado, si se quisiera seguir una estrategia que tuviera como objetivo la mínima emisión de CO₂ un parámetro importante sería el de las emisiones en Kg/KVA debido a la fabricación de los generadores.

4.4.6. Restricciones:

Con las restricciones se consigue acotar el sistema de modo que el programa deseche aquellos casos que no las cumplan. Ihoga ofrece la posibilidad de señalar restricciones en cuanto a la autonomía del sistema, al banco de baterías y a la energía.

- Energía no suministrada: es la relación entre la energía que suministra el sistema de generación y la que total demanda por las cargas, introducida en valor porcentual. En caso de instalaciones con conexión a red se puede configurar de modo que, introduciendo el valor a la que se compra la energía, la falta de generación sea suministrada por la red de distribución. Para el caso que se está llevando a cabo, el valor de *Máxima E No Servida permitida* es 0%. Teniendo en cuenta la labor a la que se destinará la instalación, es necesario asegurar que los sistemas de ventilación y los sistemas automatizados para los animales sean interrumpidos sin ningún tipo de excepción.
- Autonomía mínima: como se utiliza una configuración que incluye el generador de apoyo, el programa identificará por defecto una autonomía infinita.

CR recomendado por la Norma Técnica Universal para Sistemas Fotovoltaicos Domésticos, Versión 2, Thermie B: SUP-995-96, 1998 (revisado en 2001) es:

- La restricción en cuanto a la capacidad de baterías, en el caso de una instalación con única fuente renovable los paneles fotovoltaicos, está regulado por la Norma Técnica Universal para Sistemas Fotovoltaicos Domésticos. $CR = 20 \text{ Ah}$

$$\text{Capacidad nominal (Ah)} < CR \cdot I_{cc} (\text{generador fotovoltaico})$$

- Se tienen la posibilidad de asignar un porcentaje mínimo de suministro por parte de las tecnologías renovables, sin embargo, para dimensionar el caso óptimo no se forzará este valor. Así se consigue que el programa de como primera opción el caso óptimo en cuanto a costes.
- Al igual que pasaba con el parámetro anterior, iHoga ofrece la posibilidad de marcar un coste máximo de la energía generada a partir del cual descarta las simulaciones restantes. El valor introducido es 100 €/kWh.

4.4.7. Parámetros de optimización y estrategia de control

Es otra de las restricciones que ofrece el programa, tanto en componentes como en número de combinaciones posibles dentro del programa. El parámetro principal es el tiempo de ejecución, modificara los algoritmos principales que son la combinación de componentes y la estrategia de control. Se pueden elegir entre dos métodos de optimización, el genético o el enumerativo. En el genético se puede limitar el número de generaciones, población o la tasa de cruce.

Se ofrece la posibilidad de combinación de las estrategias de optimización enumerativa y genética en los dos algoritmos, sin embargo, el programa garantiza todas las combinaciones posibles tanto en componentes como en la estrategia de control, con el método enumerativo. Mostrará los diez mejores resultados posibles con los componentes y el objetivo seleccionados.

Con la selección del objetivo de la optimización se consigue asignar al programa de simulación la estrategia de dimensionado que debe seguir. Se puede forzar una estrategia que garantice unas emisiones de CO₂, una energía no servida máxima y/o maximizar el índice de desarrollo humano. Como se ha seleccionado una energía no servida máxima del 0%, la

estrategia de optimización será mono objetivo, es decir, la simulación se realizará en todo momento con la finalidad de buscar el mínimo coste cumpliendo con las restricciones y componentes seleccionados.

Posteriormente se debe determinar la estrategia de control de la variable a optimizar. Existen dos estrategias globales dadas por el programa:

- El seguimiento de la demanda: con esta estrategia cuando la energía procedente de las fuentes renovables no es suficiente para cubrir la demanda de energía, se suministrará a través de las baterías. En caso de que la energía almacenada no fuera suficiente entraría en funcionamiento el grupo de apoyo diésel, lo que quiere decir que el generador nunca funcionaría a potencia nominal para la carga de baterías. Sólo alcanzará este valor si la energía para cubrir la demanda de los paneles y las baterías no fuera necesaria y se viera obligado a trabajar a esa potencia.
- El sistema de carga cíclica: el generador funcionará a su potencia nominal cuando la potencia para abastecer la demanda no sea suficiente, el exceso de esta generación, si lo hubiera, sería destinado a la carga de baterías. Si se activa la opción SOC stp, el generador funcionará hasta el límite marcado para las cargas, normalmente el 95% de la capacidad de las baterías.

Existen una serie de parámetros que se pueden dejar según fabricante o variar para ver el comportamiento de la instalación. Son P_{\min_gen} ; $P1_{gen}$; SOC_{stp_gen} ; P_{crit_gen} ; SOC_{\min} , potencia mínima del funcionamiento del generador, potencia nominal, estado de carga de la batería en que para el generador, potencia nominal del generador y estado de carga mínimo respectivamente. En una estrategia de seguimiento de demanda el generador nunca llegará a su potencia nominal y una vez servida la carga dejará de cargar baterías, luego $P_{crit_gen} = 0$ y $SOC_{\min} = SOC_{stp_gen}$. En una estrategia de carga cíclica los el valor critico de potencia del generador será muy alto, funcionará a potencia nominal hasta el límite de carga de la baterías SOC_{stp_gen} .

En caso de probar ambas estrategias el software no permitirá personalizar el valor de algunas variables. Al igual que para las estrategias de control de forma independiente, si no se modifican los valores tomará los del fabricante. En principio, una vez elegidos todos los componentes durante los casos a desarrollar, no se deberían porque modificar.

4.4.8. Datos económicos:

En este aspecto se intentará aproximar al máximo la simulación con un caso perfectamente real. Por ello, los costes de inversión aproximados que pueden resultar hacen pensar que cualquier persona que quiera invertir en esta instalación no dispondría de un presupuesto de la magnitud necesaria. Se dispondrá de un préstamo del 70% de los costes con un tipo de interés del 7,5% a diez años. El período de estudio se simulará el mismo que la vida media de los paneles, 25 años. Durante este tiempo se deben tener en cuenta todos los costes de mantenimiento, costes de operación o imprevistos de reposición de componentes. Ihoga tendrá en cuenta todos ellos, pero se debe estipular un valor de inflación esperado, un 2,5%. Además se debe dar valor al interés del mercado, un 4%. De la combinación de estos dos valores la herramienta ofrece el valor de la tasa de descuento general, 1,96%, este valor aproxima los costes futuros a su valor real.

Además de los descritos, otro parámetro importante es el coste de montaje, cableado y costes variables del inicio de la instalación. Basándolos en un presupuesto real se ha determinado un precio de 1350€ con una variable del 2%. (ANEXO 5)

5. RESULTADOS SIMULACIÓN

La finalidad es encontrar la combinación de componentes y estrategia de control y optimización que hagan del dimensionado una solución viable para el consumidor. Durante el capítulo anterior se han descrito los distintos elementos que proporciona la herramienta de dimensionado iHoga, a lo largo de este se detallarán los componentes utilizados. Para visualizar fácilmente el comportamiento de los sistemas híbridos serán desarrollados tres casos distintos, variando en estos los componentes de la instalación. En primer lugar, se dimensionará la instalación únicamente con energías renovables y sistema de acumulación. Posteriormente, se simulará con el mismo consumo una instalación utilizando un grupo de combustible fósil como único elemento de generación. Y por último, la configuración por la que se apostaría para el emplazamiento elegido y con el consumo determinado, se dimensionará la instalación con generación fotovoltaica, sistema de acumulación y sistema de apoyo con combustible fósil.

El propósito es conseguir una comparación eficaz aportando distintas soluciones para el suministro ininterrumpido en un consumo aislado. Ante las distintas posibilidades desarrolladas durante el capítulo 4, se definen una serie de parámetros fijos para los tres casos descritos. La demanda e irradiación se mantendrán con los valores asumidos durante el anterior capítulo, los paneles seleccionados seguirán la estrategia de seguimiento de máxima potencia para conseguir mejores resultados de rendimiento. En cuanto a las baterías, será el programa el que dimensione en cuanto a número y modelo de entre las propuestas (Plomo-ácido, baterías abiertas), con un cálculo de vida según conteo de ciclos (rainflow). El inversor y regulador de carga, se dimensionará de la manera óptima para la instalación el programa de entre los elementos propuestos, al igual que el generador diésel.

Por otro lado, para todos los casos se utilizará una estrategia de control de seguimiento de la demanda para priorizar el uso de energía renovable tanto para consumo como para carga de baterías y, como se ha descrito a lo largo de trabajo, un tipo de optimización mono objetivo que tenga únicamente en cuenta la combinación de la que resulte el mínimo coste.

5.1 Caso 1: Paneles fotovoltaicos + sistema de acumulación

Para el primer caso, se utilizarán los paneles fotovoltaicos combinados con el sistema de acumulación, con la restricción taxativa del 0% de energía no servida. Es decir, que la instalación debe ser capaz de almacenar energía suficiente para abastecer la demanda de energía durante los períodos en los que los paneles fotovoltaicos, bien por las condiciones climatológicas o bien por el momento del día de estudio, no sean capaz de suministrarla.

5.1.1. Componentes

En primer lugar, teniendo en cuenta que no se ha elegido un sistema sin seguimiento solar, para la reducción de costes y aproximar a la realidad el caso de estudio (habitualmente para pequeñas instalaciones no se utilizan sistemas de seguimiento solar), es necesario calcular la inclinación óptima para la máxima explotación del recurso. Será la herramienta iHoga quien mediante los datos de irradiación proporcionados por la web NASA junto con los datos del emplazamiento calcule, utilizando como referencia el mes con menos irradiación, la inclinación óptima de los paneles teniendo en cuenta la relación consumo/irradiación. Se determina la irradiación diaria media para cada mes del año con inclinaciones 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90° e inclinación óptima.

Tabla 5.1 Cálculo inclinación óptima (Extraída iHoga)

	Rad. 0° (kWh/día)	Rad. 15° (kWh/día)	Rad. 30° (kWh/día)	Rad. 45° (kWh/día)	Rad. 60° (kWh/día)	Rad. 75° (kWh/día)	Rad. 90° (kWh/día)	Inc. Opt. (°)	Rad. Inc. Opt. (kWh/día)
Enero	2,22	2,9	3,42	3,76	3,89	3,79	3,48	61	3,89
Febrero	3,2	3,96	4,52	4,83	4,87	4,64	4,14	55	4,89
Marzo	4,46	5,13	5,51	5,59	5,36	4,83	4,05	41	5,6
Abril	5,32	5,65	5,69	5,43	4,89	4,11	3,16	24	5,71
Mayo	6,18	6,23	5,99	5,46	4,65	3,69	2,6	10	6,25
Junio	7,18	7,08	6,63	5,87	4,83	3,64	2,38	4	7,19
Julio	7,35	7,32	6,93	6,2	5,14	3,91	2,57	6	7,39
Agosto	6,34	6,62	6,57	6,14	5,38	4,37	3,16	20	6,64
Septiembre	4,95	5,53	5,81	5,77	5,4	4,74	3,83	35	5,83
Octubre	3,3	3,92	4,33	4,52	4,46	4,15	3,63	49	4,52
Noviembre	2,33	2,94	3,4	3,68	3,76	3,63	3,3	58	3,76
Diciembre	1,85	2,41	2,85	3,14	3,25	3,19	2,94	62	3,25
AÑO COMPLETO	4,56	4,98	5,14	5,03	4,66	4,05	3,27	32	5,14

El mes de menor irradiación sobre superficie horizontal es DICIEMBRE

La inclinación óptima para maximizar la irradiación en DICIEMBRE (paneles fotovoltaicos fijos) es 62 °

La inclinación óptima teniendo en cuenta la relación consumo/irradiación sobre superficie inclinada (paneles fotovoltaicos fijos) es 60 °

El mes de peor relación consumo/irradiación para esa inclinación óptima de 60° es DICIEMBRE con consumo equiv. DC de 11,2 kWh y radiación sobre superf. incl. 60° de 3,25 kWh/m2/día

Como se puede apreciar en la tabla obtenida del programa, se tomará la inclinación con la que se consiga la mejor relación entre consumo e irradiación en el peor mes de estudio, es decir, en Diciembre. La inclinación óptima que maximiza la irradiación es 62° con unos resultados de $3,25 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$. Este parámetro se mantendrá constante durante los tres casos de estudios, por lo que el cálculo de la inclinación óptima será válido para el resto de casos.

Una vez conocido la inclinación de los paneles fotovoltaicos es necesario estipular cuáles serán los que se utilicen para el dimensionado. La base de datos de iHoga proporciona una serie de componentes como los paneles de Isofoton, Schott o Atersa, para el estudio que se está desarrollando se utilizarán los datos actualizados de la tarifa de Atersa de Agosto de 2014. Debido a la magnitud de la instalación se han seleccionado aquellos que respeten el equilibrio entre calidad y precio además de la coherencia con la potencia y tensión de la misma. Para reducir costes en el regulador de carga y en las protecciones la tensión de trabajo seleccionada es de 48V.

De la tarifa actualizada nacional de Aterosa de Agosto de 2014 se han podido extraer los costes de cada uno de los paneles a utilizar para realizar el estudio económico de la instalación.

Tabla 5.2 Hoja características y PVP paneles solares (Cedido web Aterosa)

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (STC: 1 kW/m ² ; 25 °C/ ± 2 °C y AM 1,5)						
MODELO	A-240P	A-245P	A-250P	A-290P	A-295P	A-300P
Potencia nominal (0/+5W)	240 W	245 W	250 W	290 W	295 W	300 W
Eficiencia del módulo %	14,74 %	15,04 %	15,35 %	14,91 %	15,16 %	15,42 %
Corriente MPPT (Imp.)	8,21 A	8,33 A	8,45 A	8,67 A	8.14 A	8.21 A
Tensión MPPT (Vmp)	29,21 V	29,37 V	29,53 V	35,93 V	36,23 V	36,52 V
Corriente cortocircuito (Isc)	8.73 A	8.82 A	8.91 A	8.67 A	8.78 A	8,89 A
Tensión circuito abierto (Voc)	37,16 V	37,38 V	37,6 V	44,67 V	44,82 V	44,97 V
PARÁMETROS TÉRMICOS						
Coef. Temperatura Isc (α)	0,04 % / °C					
Coef. Temperatura Isc (β)	-0,32 % / °C					
Coef. Temperatura Isc (γ)	-0,43 % / °C					
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS						
MODELO	A-240 P	A-245 P	A-250 P	A-290 P	A-295P	A-300P
Dimensiones	1645x990x40			1965x990x40		
Peso	21,5 Kg			24 Kg		
Área	1,63 m ²			1,95 m ²		
Tipo de Célula	Poli cristalina 156x156 mm			Poli cristalina 156x156 mm		
Célula en serie	60 (6x10)			72(6x12)		
Cristal delantero	Cristal templado ultra claro 4mm			Cristal templado ultra claro 4mm		
Marco	Aleación de aluminio pintado en poliéster			Aleación de aluminio pintado en poliéster		
Caja de conexiones	TYCO IP65			TYCO IP65		
Cables	Cable solar 4 mm ² 1200cm			Cable solar 4 mm ² 1200cm		
Conectores	TYCO			TYCO		
RANGO DE FUNCIONAMIENTO						
Temperatura	-40 °C a + 85°C					
Máxima tensión del sistema/ Protección	1000 V/CLASS II					
Carga máxima viento/Nieve	2400 Pa (130 Km/h)/5400 Pa(551 Kg/m ²)					
Máxima corriente inversa	15,1 A					
PARÁMETROS ECONÓMICOS						
MODELO	A-240P	A-245P	A-250P	A-290P	A-295P	A-300P
PVP (€)	288,00	294,00	310,00	350,90	357,00	363,00

Introducidos los valores actualizados de los paneles solares según la web oficial del fabricante, será el propio programa el que se encargue de la elección de la mejor combinación.

Estudiada la hoja de características de los generadores solares, se deben desglosar las baterías, inversores y cargadores de baterías. Al igual que ocurría anteriormente, la base de datos del programa ofrece la posibilidad de utilizar distintos modelos de baterías. Para el caso a desarrollar se han elegido las baterías estacionarias plomo-ácido abiertas OPZS-Hawker que son la mejor solución para sistemas fotovoltaicos debido al alto grado de fiabilidad y seguridad que ofrecen. Además aseguran un alto rendimiento de ciclaje con una larga vida útil de entre 15 y 20 años. De la web oficial de energy se pueden observar las características de algunas de las que se utilizarán para el dimensionado de la instalación.

Tabla 5.3 Hoja características baterías tubulares Plomo-ácido abiertas OPZS-Hawker

OpzS - BATERIAS TUBULARES DE PB ABIERTO - RECIPIENTE TRANSPARENTE									
REF. ENERGYSYS 5200 CICLOS	REFERENCIA OpzS	TENSION (V)	CAPACIDAD AH (25°)			DIMENSIONES (mm)			PESO (Kg)
			10H / 1,80V	100H / 1,85V	120H / 1,85V	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	
TLS - 3	3 OpzS 150	2	180	240	244	103	206	389	16,40
TLS - 4	4 OpzS 200	2	220	295	300	103	206	389	18,40
TLS - 5	5 OpzS 250	2	270	361	367	124	206	389	22,20
TLS - 6	6 OpzS 300	2	323	433	440	145	206	389	26,00
TVS - 4	4 OpzS 280	2	340	452	460	124	206	505	27,00
TVS - 5	5 OpzS 350	2	390	519	530	124	206	505	29,70
TVS - 6	6 OpzS 420	2	470	627	640	145	206	505	34,70
TVS - 7	7 OpzS 490	2	550	731	745	166	206	505	39,80
TYS - 6	6 OpzS 600	2	670	900	912	145	206	684	47,70
TYS - 7	7 OpzS 700	2	816	1101	1120	191	210	684	59,00
TYS - 8	8 OpzS 800	2	900	1200	1220	191	210	684	62,70
TYS - 9	9 OpzS 900	2	1040	1394	1415	233	210	684	73,10
TYS - 10	10 OpzS 1000	2	1120	1500	1523	233	210	684	76,80
TYS - 11	11 OpzS 1100	2	1260	1685	1714	275	210	684	87,30
TYS - 12	12 OpzS 1200	2	1340	1797	1825	275	210	684	91,00
TZS - 11	11 OpzS 1375	2	1560	2090	2130	275	210	829	112,90
TZS - 12	12 OpzS 1500	2	1710	2300	2335	275	210	829	117,60
TZS - 13	13 OpzS 1.625	2	1940	2600	2640	399	214	813	147,10
TZS - 14	14 OpzS 1750	2	2040	2729	2775	399	214	813	151,70
TZS - 15	15 OpzS 1875	2	2150	2880	2925	399	214	813	156,40
TZS - 16	16 OpzS 2000	2	2240	3000	3050	399	214	813	161,00
TZS - 17	17 OpzS 2125	2	2430	3258	3310	487	212	813	186,30
TZS - 18	18 OpzS 2250	2	2555	3427	3480	487	212	813	191,00
TZS - 20	20 OpzS 2500	2	2800	3753	3810	487	212	813	200,10
TZS - 22	22 OpzS 2750	2	3090	4140	4210	576	212	813	227,80
TZS - 24	24 OpzS 3000	2	3360	4505	4580	576	212	813	237,30

De la tarifa actualizada del fabricante se han podido comprobar que los costes de adquisición de las mismas están actualizados con respecto a los valores tomados por iHoga para realizar el estudio, por ello, no ha sido necesaria la renovación de precios.

Al igual que para los paneles fotovoltaicos, tanto para baterías como para los restantes elementos de control se seguirá una estrategia en la que se pongan a disposición del programa soluciones variadas para el dimensionado, de modo que sea él el que calcule la mejor solución económica.

Tabla 5.4 Baterías OPZS-Hawker (Extraída iHoga)

										Ciclos de Vida en función de la Profundidad de Descarga									
	C.nom.	Vn	Coste Adquis.	C. O&M unidad	SOC mín.	Coef. Autod.	Imax	Efic. glob.	Vida flot. a 20 °C										
	Nombre	(A·h)	(V)	(€)	(€/año)	(%)	(% mes)	(A)	(%)	(años)	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
	OPZS-Hawker:TLS-3	180	2	127	1,27	20	3	36	85	18	12000	6500	4350	3100	2500	2050	1800	1600	1500
	OPZS-Hawker:TLS-5	270	2	178	1,78	20	3	54	85	18	12000	6500	4350	3100	2500	2050	1800	1600	1500
	OPZS-Hawker:TVS-5	390	2	164,9	1,65	20	3	78	85	18	12000	6500	4250	3100	2500	2050	1800	1600	1500
	OPZS-Hawker:TVS-7	550	2	202	2,02	20	3	110	85	18	12000	6500	4250	3100	2500	2050	1800	1600	1500
	OPZS-Hawker:TYS-7	816	2	298	2,98	20	3	163,2	85	18	12000	6500	4250	3100	2500	2050	1800	1600	1500
	OPZS-Hawker:TYS-12	1340	2	412	4,12	20	3	268	85	18	12000	6500	4250	3100	2500	2050	1800	1600	1500
	OPZS-Hawker:TZS-13	1940	2	578	5,78	20	3	388	85	18	12000	6500	4250	3100	2500	2050	1800	1600	1500

A la hora de la **elección del inversor**, dentro de cada familia, en función de la tensión de funcionamiento y de los requisitos del sistema la herramienta será capaz de identificar aquellos que cumplan las exigencias. Para el dimensionado que se está llevando a cabo se ha seleccionado un inversor aislado y un cargador de baterías debido a la sencillez de la instalación y a que recibirá un uso a nivel usuario, se ha optado realizar una instalación eficaz, sencilla y asequible económicamente.

Los inversores elegidos son Steca Solarix de entre los que se han preseleccionado por motivos técnicos el PI1200 y sus combinaciones que cumplen los requisitos de tensión de trabajo. Estos transforman la corriente continua en corriente alterna senoidal, para permitir al consumidor el uso de cualquier tipo de consumo (con ondas semisenoidales o cuadráticas se podrían tener problemas con cargas inductivas).

Al igual que pasara con los sistemas de acumulación, debido a la actualidad de la versión utilizada para la ejecución del trabajo, la base de datos de iHoga ofrece los valores de costes de adquisición actualizados. Del manual de Steca Solarix se puede extraer la hoja de características de aquellos que se pondrán a disposición del programa para el dimensionado.

Tabla 5.5 . Hoja característica Inversores Steca Solarix (Cedido manual Steca)

	550	550-L60	600	600-L60	1100	1100-L60	1200	1200-L60
Funcionamiento								
Tensión del sistema	12 V		24 V		24 V		48 V	
Potencia continuo	500 VA				1.000 VA			
Potencia 30 min.	550 VA				1.110 VA			
Potencia 5 sec.	1.500 VA				3.000 VA			
Potencia asimétrica	350 VA				500 VA			
Eficiencia máxima	93 %				94 %			
Consumo propio standby / ON	0,5 W / 6 W				0,7 W / 10 W			
Datos de entrada CC								
Tensión de la batería	10,5 V ... 16 V		21 V ... 32 V		21 V ... 32 V		42 V ... 64 V	
Tensión de reconexión (LVR)	12,5 V		25 V		25 V		50 V	
Protección contra descarga profunda (LVD)	por corriente o por Steca Power Tarom							
Datos de salida CA								
Tensión de salida	230 V AC +/-10 %	115 V AC +/-10 %	230 V AC +/-10 %	115 V AC +/-10 %	230 V AC +/-10 %	115 V AC +/-10 %	230 V AC +/-10 %	115 V AC +/-10 %
Frecuencia de salida	50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz
Cosphi	0,1 ... 1 (a P _{nom})							
Detección de consumidor (standby)	ajustable: 2 W ... 50 W							
Seguridad								
Clase de protección	II (doble aislamiento)							
Protección electrónica	polaridad invertida batería, polaridad invertida CA, sobretensión, sobrecorriente, sobretemperatura							
Condiciones de uso								
Temperatura ambiente	-20 °C ... +50 °C							
Equipamiento y diseño								
Largo del cable de la batería / CA	1,5 m / 1,5 m							
Diámetro de cable de la batería / CA	16 mm² / 1,5 mm²							
Grado de protección	IP 20							
Dimensiones (X x Y x Z)	212 x 395 x 130 mm							
Peso	6,6 kg				9 kg			

Datos técnicos a 25 °C / 77 °F

El último componente a determinar para la ejecución del primer caso es el **regulador de carga**. Debe ser seleccionado de entre un número de ellos que cumplan la tensión de corriente continua del sistema, además de ser capaz de gestionar toda la potencia suministrada por los paneles fotovoltaicos para la carga de baterías. Se han seleccionado los reguladores de carga steca para aplicaciones industriales y exteriores, como sistema de telecomunicación. El motivo es que operan en rangos de potencia de hasta 20 kWp y su preparación para instalaciones en intemperie con nivel de estanqueidad IP 65. Al igual que ocurriría con los paneles fotovoltaicos los costes de adquisición se deben actualizar con los proporcionados por la tarifa de Agosto de 2014 de Atersa. (Anexo 1)

5.1.2. Resultados del dimensionado

Después de actualizar los datos de cada uno de los componentes y adecuarlos a los requisitos impuestos a la instalación será el programa el que calcule el número de elementos a utilizar y el modelo de entre los que se han puesto a disposición para el cálculo de la mejor opción.

Tabla 5.6 Resultados simulación Caso 1(Extraído iHoga)

RESULTADOS SIMULACIÓN CASO 1		
	MODELO	NÚMERO
Paneles Solares	<i>Paneles PV SiP24-Atersa A240P(240Wp)</i>	<i>2sx10p (inc.60°)</i>
Baterías	<i>Baterías OPZS-Hawker TYS-12(1340Ah)</i>	<i>24sx1p</i>
Inversor	<i>Inversor Steca: Solarix 1200x2 de 1800VA</i>	<i>1</i>
Regulador Carga	<i>Regulador PV Steca: Tarom 4120 de 120A</i>	<i>1</i>
E no servida	0%	
Coste total (VAN)	35.106 € (0,42 €/kWh)	
Estrategia	Seguimiento de la demanda SOC mín.: 20%	

Es interesante observar las cualidades tanto de las baterías como del inversor una vez que se saben cuáles se utilizaran en la instalación.

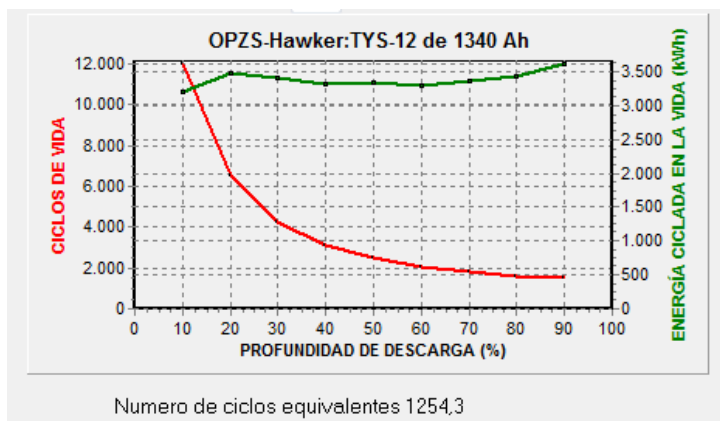


Figura 5.1 Curva característica ciclos de vida-profundidad de descarga (%)-Energía ciclada (kWh)

Batería Hawker TYS -12 1340Ah (Extraído iHoga)

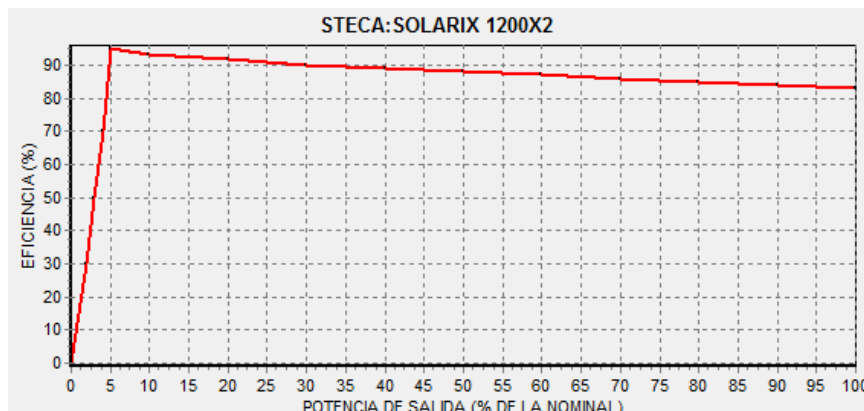


Figura 5.2 Curva característica Eficiencia (%) -Potencia de salida (%Pn)

Inversor Steca Solarix 1200x2 (Extraído iHoga)

La Potencia máxima necesaria en las cargas es de 1151,17 VA, calculado por iHoga, por ello el inversor debe ser de 1800 VA. Como la potencia media horaria es del 25,1 % de la potencia nominal del inversor se estima una eficiencia media de 90,9%.

La **simulación** generada es para un año y los resultados obtenidos se utilizan para el estudio de los 25 años de la instalación. En primer lugar se desglosará el informe energético de iHoga, tanto cuantitativa como gráficamente para comprender el comportamiento de la instalación y facilitar la posterior comparación con los distintos casos de estudio.

- Resultados energéticos:

Del informe energético se pueden extraer los datos mensuales y anuales de los componentes que participan en la generación y gestión de la energía y del consumo de la instalación.

Tabla 5.7 Informe energético mensual/anual

Mes	CONSUMO	FOTOVOLTAICA	EXCESO	CARGA BATERÍAS	DESCARGA BATERÍAS
1	282,8	388,6	38,5	121,3	104,9
2	259,3	440	120	86,1	72,7
3	291,2	535,7	179	80,5	67,3
4	276,1	472,6	133,8	81	68,5
5	284,6	465,1	117,1	79,9	67,6
6	281,1	467,5	124,2	79,6	67,4
7	283,9	513,8	166,1	82,7	70
8	291,5	537,9	180,6	85,1	72,2
9	279,4	522,3	180,3	81,5	69,1
10	283,1	445,3	96,4	100,5	86,7
11	279,8	363,5	19,7	119,9	105,6
12	285,5	325	0	109,9	121,4
TOTAL	3378,4 kWh	5477,4 kWh	1355,8 kWh	1108,1 kWh	973,3 kWh

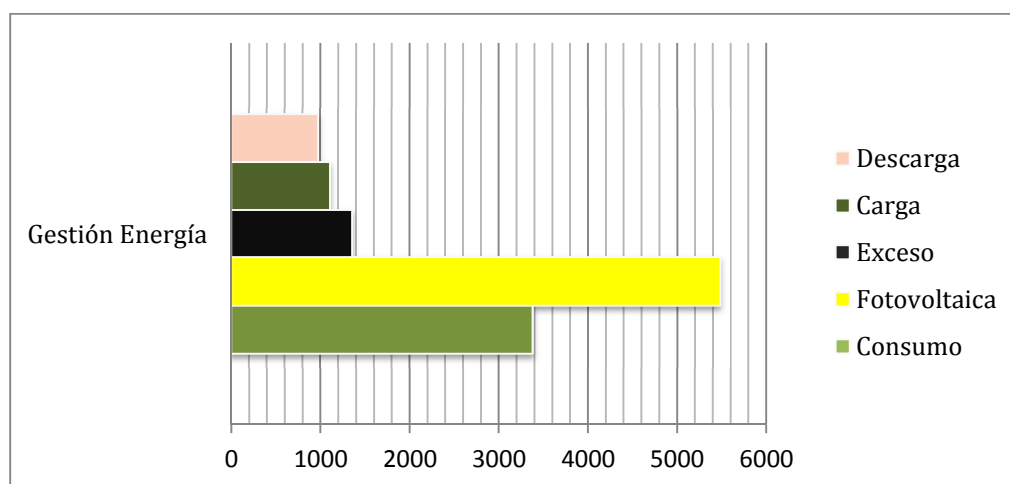


Figura 5.3 Gráfica resultados energéticos caso 1

Como se puede observar, la energía generada por los paneles fotovoltaicos es suficientemente elevada como para abastecer la distribución del consumo total. Una fracción de esta energía se emplea para la carga de baterías hasta el límite de carga, asegurando así una mayor vida útil. Al igual que ocurrirá con la carga la descarga de

baterías no supera el límite impuesto del $SOC_{\min} > 20\%$ de la capacidad total, para asegurar el correcto funcionamiento.

En instalaciones conectadas a la red de distribución este exceso podría ser cedido a la red recibiendo una remuneración económica que posteriormente se analizaría en el informe económico, sin embargo, debido a las características de aislamiento del emplazamiento seleccionado este exceso será destina únicamente a la carga de baterías.

Estos valores tabulados se traducen en los siguientes valores energéticos de los distintos parámetros de la configuración.

- La *potencia media mensual y anual*.

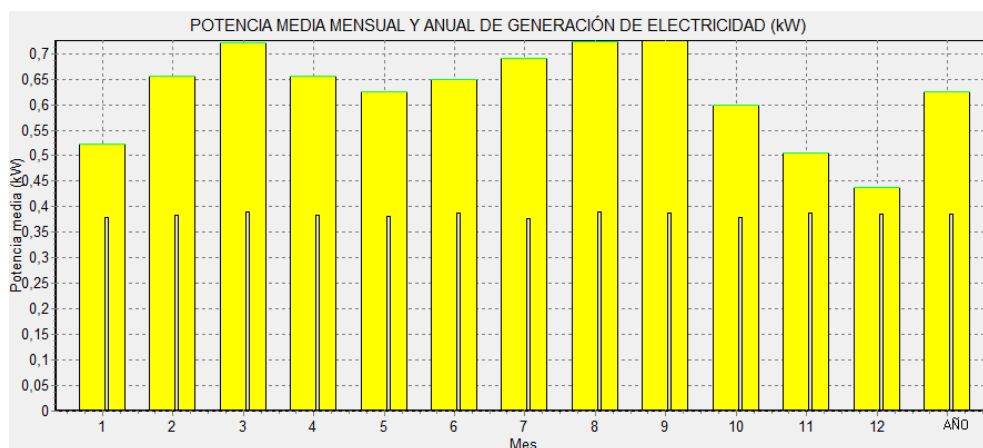


Figura 5.4 Valores mensuales y anual de generación. (Extraído iHoga)

- Los *valores mensuales energéticos* de cada elemento.

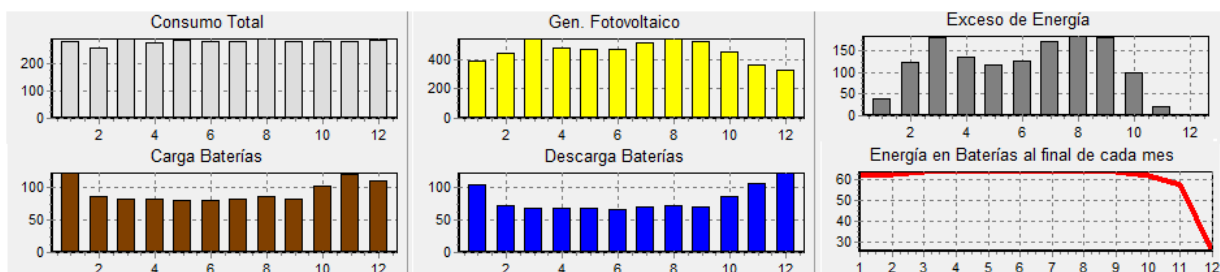


Figura 5.5 Valores mensuales y anuales de generación. (Extraído iHoga)

- Resultados económicos:

Los resultados muestran los costes de adquisición y de operación y mantenimiento de los elementos de la instalación, así como los posibles ingresos de la venta de los componentes teniendo en cuenta la inflación esperada general del 2%. Evidentemente al ser una tabla de costes, los ingresos obtenidos en concepto de la venta irán con signo negativo.

Tabla 5.8 Informe económico Caso 1

AÑO	PANELES	O&M	INVERSOR	BATERÍAS	O&M	REGULADOR	FINANCIACIÓN	TOTAL
0	5760	0,0	1200	9888,0	0,0	2004,6	6173,9	6173,9
1	0,0	117,7	0,0	0,0	146,0	0,0	2111,1	2374,8
2	0,0	115,4	0,0	0,0	143,2	0,0	2029,9	2288,5
3	0,0	113,2	0,0	0,0	140,5	0,0	1951,8	2205,5
4	0,0	111,0	0,0	0,0	137,8	0,0	1876,8	2125,6
5	0,0	108,9	0,0	0,0	135,1	0,0	1804,6	2048,6
6	0,0	106,8	0,0	0,0	132,5	0,0	1735,2	1974,5
7	0,0	104,7	0,0	0,0	130,0	0,0	1668,4	1903,1
8	0,0	102,7	0,0	0,0	127,5	0,0	1604,3	1834,5
9	0,0	100,8	0,0	0,0	125,0	0,0	1542,6	1768,3
10	0,0	98,8	988,2	0,0	122,6	1650,8	1483,2	4343,7
11	0,0	96,9	0,0	0,0	120,2	0,0	0,0	217,2
12	0,0	95,1	0,0	0,0	117,9	0,0	0,0	213,0
13	0,0	93,2	0,0	0,0	115,7	0,0	0,0	208,9
14	0,0	91,4	0,0	0,0	113,4	0,0	0,0	204,9
15	0,0	89,7	0,0	0,0	111,3	0,0	0,0	200,9
16	0,0	88,0	0,0	0,0	109,1	0,0	0,0	197,1
17	0,0	86,3	0,0	0,0	107,0	0,0	0,0	193,3
18	0,0	84,6	0,0	3393,0	105,0	0,0	0,0	3582,5
19	0,0	83,0	0,0	0,0	102,9	0,0	0,0	185,9
20	0,0	81,4	813,8	0,0	101,0	1359,5	0,0	2355,6
21	0,0	79,8	0,0	0,0	99,0	0,0	0,0	178,8
22	0,0	78,3	0,0	0,0	97,1	0,0	0,0	175,4
23	0,0	76,8	0,0	0,0	95,3	0,0	0,0	172,0
24	0,0	75,3	0,0	0,0	93,4	0,0	0,0	168,7
25	0,0	73,9	-369,3	-1367,9	91,6	-616,8	0,0	-2188,5
TOTAL	5760,0	2353,6	2632,8	11913,1	2920,1	4398,0	23981,8	35.106,7 €

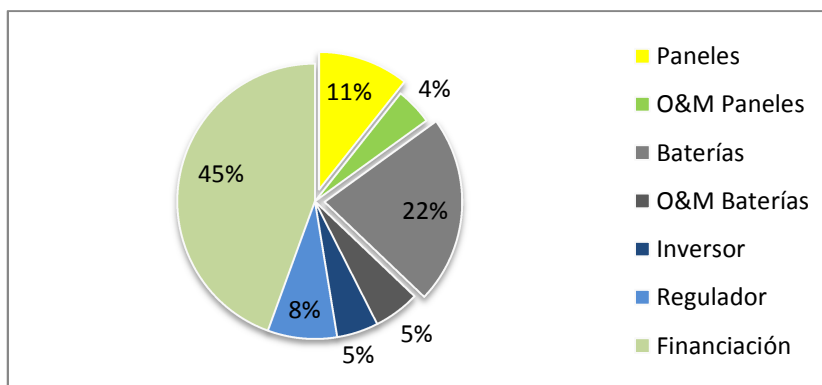


Figura 5.6 Gráfica resultados económicos caso 1

El año de la construcción se tiene en cuenta los costes de adquisición de cada componente y se empieza a pagar el préstamo del 70% de los costes con un tipo de interés del 7,5% durante los primeros diez años. A partir del año de inicio hay unos costes de mantenimiento de los paneles solares y las baterías, que llevan implícito el recambio de piezas, cableado, previsión de averías y limpieza. Además, las baterías tienen una esperanza de vida de 10 años luego se prevén gastos de reemplazamiento de algunos módulos. Por último, tanto regulador como el inversor tienen una esperanza de vida de 10 años por lo que son necesarios cambiarlos dos veces durante el período de estudio de 25 años. Si se tienen en cuenta el desarrollo de las tecnologías con la investigación, cabe esperar que aunque el precio de dinero aumente el valor de los equipos disminuya.

5.2 Caso 2: Generador combustible fósil

Para facilitar la comparativa del funcionamiento de una instalación de generación fotovoltaica aislada con sistema de apoyo y sin él, se simulará un caso en el que sea únicamente el generador diésel el encargado de abastecer toda la carga. De este modo, se podrá apreciar la influencia en los costes del combustible y la adquisición del grupo y el funcionamiento como apoyo a una generación alternativa.

Se generará exactamente el caso con la misma estrategia de control y optimización, es decir, con seguimiento de la demanda y mono-objetivo (mínimo coste) respectivamente. A parte de ello, se supondrá la misma financiación aunque, como se verá más adelante, los costes son notablemente mayores.

En cuanto a la tensión de funcionamiento, al no utilizar sistemas de almacenamiento energético ni generadores solares no habrá un bus de corriente continua requerido en el caso anterior, por lo que su valor dentro del programa no tendrá influencia en el resultado. Lo mismo ocurrirá con el estudio de irradiación para el emplazamiento elegido, que para este caso se mantendrá al margen.

5.2.1. Componentes

Para la simulación se han puesto a disposición del programa generadores desde 1,9 KVA hasta 15 KVA para que sea iHoga quien determine la potencia nominal del grupo. Por otro lado, la distribución de demanda, como se mencionó anteriormente, se mantiene constante para los tres casos. Los costes de adquisición de estos generadores varía en función del fabricante, por ello el rango de valores que maneja la base de datos de iHoga actualizada en Junio de 2014 estima una media aproximada de la que se hará uso para el estudio económico.

5.2.2. Resultados del dimensionado

De la simulación con la configuración descrita se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 5.9 Resultados simulación Caso 2(Extraído iHoga)

RESULTADOS SIMULACIÓN CASO 2		
Generador	MODELO	NÚMERO
E no servida	<i>Gen. AC Diésel 1,9 KVA potencia nominal</i>	<i>1</i>
Coste total (VAN)	0%	
Estrategia	142.604 € (1,69 €/kWh)	
	Seguimiento de la demanda: P _{mín_gen} = 570W	

Era de esperar que los costes fueran muy superiores a los del caso 1 teniendo en cuenta que el precio de combustible estimado de 1,3 €/Ud. y es el único método de generación empleado. Además, como en el resto de los casos, este coste se verá agravado por la inflación esperada del 4%.

El generador dimensionado es un generador diésel de 1,9 KVA que se adecua a la magnitud del consumo de la instalación. El generador ofrece una potencia de salida por cada unidad de combustible por hora, como se puede apreciar en la siguiente figura.

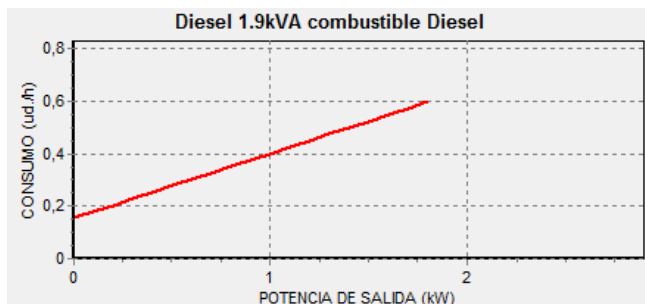


Figura 5.7 Consumo frente Potencia de salida (kW)

- Resultados energéticos:

Tabla 5.6 Resultados simulación Caso 2

Mes	CONSUMO	GENERADOR AC	EXCESO	CONSUMO COMB.
1	282,8	489,2	186,9	235,5
2	259,3	444,3	167,7	213,3
3	291,2	495,5	184,2	237,0
4	276,1	475,7	179,7	228,4
5	284,6	490,6	185,9	235,8
6	281,1	477,8	178,6	229,0
7	283,9	488,6	186,7	235,3
8	291,5	495,1	184,4	236,9
9	279,4	477,9	178,8	229,0
10	283,1	489,5	186,3	235,5
11	279,8	477,6	178,7	228,9
12	285,5	492,9	185,3	236,4
TOTAL	3378,4 kWh	5794,3 kWh	1355,8 kWh	2780,9 L

Debido a las restricciones impuestas y a la estrategia de control, el generador genera más energía de la necesaria. En primer lugar, se está imponiendo que en ningún caso puede quedar exento de abastecer (E no servida 0%) y, por otro lado, la potencia mínima que se genera con la estrategia de seguimiento de la demanda supera en muchos casos los consumos en momentos puntuales del día (Seguimiento de la demanda: $P_{\min_gen} = 570W$). Es necesario recordar, que se ha elegido la estrategia de seguimiento de la demanda para priorizar la carga de baterías con las energías renovables, para este caso en concreto no tiene mucho sentido, pero para realizar la comparativa en los tres casos se mantendrá la estrategia de control fija.

Para la visualización gráfica de los valores anteriormente tabulados de la simulación de iHoga se han extraído los siguientes resultados.

- La *potencia media mensual y anual* son:

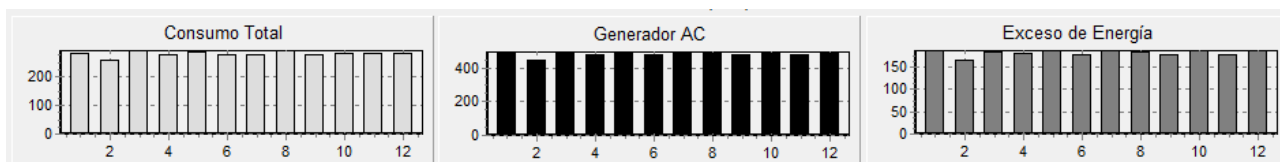


Figura 5.8 Valores mensuales y anuales de generación. (Extraído iHoga)

- *Resultados económicos:*

Tabla 5.7. Resultados económicos Caso 2

AÑO	GENERADOR	O&M	COMBUSTIBLE	FINANCIACIÓN	TOTAL
0	800,0	0,0	0,0	649,8	649,8
1	784,6	1202,8	3650,3	222,2	5860,0
2	769,5	1179,7	3685,4	213,6	5848,3
3	754,7	1157,0	3720,9	205,4	5838,0
4	740,2	1134,7	3756,7	197,5	5829,1
5	726,0	1112,9	3792,8	189,9	5821,6
6	712,0	1091,5	3829,2	182,6	5815,4
7	698,3	1070,5	3866,1	175,6	5810,5
8	0,0	1049,9	3903,2	168,8	5122,0
9	671,7	1029,8	3940,8	162,4	5804,6
10	658,8	1010,0	3978,7	156,1	5803,5
11	646,1	990,5	4016,9	0,0	5653,6
12	633,7	971,5	4055,5	0,0	5660,7
13	621,5	952,8	4094,5	0,0	5668,9
14	609,6	934,5	4133,9	0,0	5678,0
15	597,9	916,5	4173,7	0,0	5688,0
16	0,0	898,9	4213,8	0,0	5112,7
17	575,1	881,6	4254,3	0,0	5711,0
18	564,0	864,6	4295,2	0,0	5723,9
19	553,2	848,0	4336,5	0,0	5737,7
20	542,5	831,7	4378,2	0,0	5752,4
21	532,1	815,7	4420,3	0,0	5768,1
22	521,9	800,0	4462,8	0,0	5784,7
23	511,8	784,6	4505,7	0,0	5802,2
24	0,0	769,5	4549,0	0,0	5318,6
25	-49,2	754,7	4592,8	0,0	5298,3
TOTAL	14176,1	24054,2	102607,2	2524,1	142.561,6 €

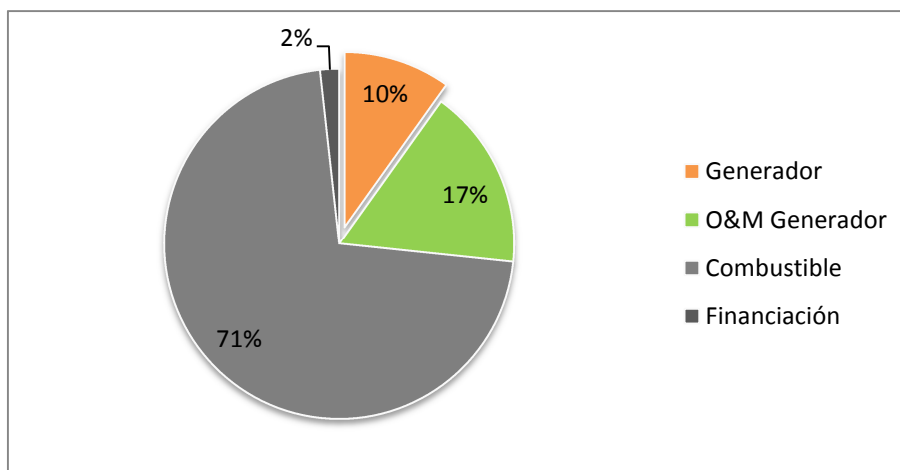


Figura 5.9 Gráfica resultados económicos caso 2

El parámetro principal que encarece la instalación es la adquisición del combustible que representa del 71% de los costes totales, se utilizan aproximadamente entre 230 y 240 L de combustible mensuales durante 25 años. Además a medida que pasa el tiempo, la eficiencia del generador disminuye y necesitará una cantidad mayor de combustible para proporcionar los mismos resultados de generación. Al igual que pasara en el primer caso, se deben tener en cuenta tanto los costes de operación mantenimiento de la instalación y el generador (O&M), así como la previsión de costes del reemplazamiento del grupo o piezas del mismo. Para facilitar el estudio se ha mantenido constante la simulación de la financiación, que en este caso afectará únicamente al grupo de generación y representará el 2% de los costes totales.

5.3 Caso 3: Paneles fotovoltaicos + Baterías + Generador diésel

A lo largo de la ejecución de este caso se verá cómo afecta la implantación de un sistema de apoyo de generación a diésel a la generación de los paneles fotovoltaicos. El generador actuará como respaldo de la generación para la carga de baterías en momentos de baja generación renovable, por ejemplo, en días nublados o meses de menor irradiación.

5.3.1. Componentes.

Al igual que ocurriría en los casos anteriores, para este se ponen a disposición del programa los componentes descritos a lo largo del trabajo para el dimensionado de la instalación. En función de la distribución de cargas introducidas y de las condiciones de sol de emplazamiento se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 5.8 Resultados simulación Caso 3

RESULTADOS SIMULACIÓN CASO 3		
	MODELO	NÚMERO
Paneles Solares	<i>Paneles PV SiP24-Atersa A245P(245Wp)</i>	<i>2sx8p (inc.60°)</i>
Baterías	<i>Baterías OPZS-Hawker TVS-5(390 Ah)</i>	<i>24sx1p</i>
Gen. Diésel	<i>Gen. AC Diésel 1,9 KVA</i>	<i>1</i>
Inversor	<i>Inversor Steca: Solarix 1200x2 de 1800VA</i>	<i>1</i>
Regulador Carga	<i>Regulador PV bat.. Steca: Tarom 4100 de 100A</i>	<i>1</i>
E no servida	0%	
Coste total (VAN)	28.670 € (0,34 €/kWh)	
Estrategia	Seguimiento de la demanda: P1gen: INF. Pmin_gen: 570 W. Pcritica_gen: 0 W. SOC setpoint_gen: 20 %. SOC mín.: 20 %.	

Se puede apreciar una reducción de costes debido a un número inferior de paneles y a una menor capacidad en las baterías, como la imposición de 0% de energía no servida será más factible de cumplir con un generador de respaldo no será necesario un gran almacenamiento de energía. El sistema no tendrá la necesidad de adecuarse al momento más desfavorable del año para dimensionar la instalación, se dispone de grupo de apoyo que será capaz de cargas

baterías en meses del año con menos potencia solar y de abastecer carga en momentos en que la energía almacenada no fuera suficiente.

5.3.2. Resultados del dimensionado

- Resultados energéticos:

Tabla 5.9 Resultados energéticos simulación Caso 3

Mes	CONSUMO	FOTOVOLTAICA	DIESEL	EXCESO	CON. COMB.	CARGA	DESCARGA
1	282,8	314,1	30,8	3,7	15,9	110,2	102,2
2	259,3	355,6	0,0	26,2	0,0	108,8	85,6
3	291,2	433,0	0,0	74,6	0,0	95,1	80,1
4	276,1	382,0	0,0	40,6	0,0	96,5	81,2
5	284,6	375,9	0,0	26,7	0,0	96,2	82,6
6	281,1	377,9	0,0	32,1	0,0	96,6	81,6
7	283,9	415,3	0,0	64,8	0,0	97,0	82,0
8	291,5	434,7	0,0	75,8	0,0	96,1	81,7
9	279,4	422,2	0,0	78,8	0,0	91,6	78,0
10	283,1	359,9	0,0	18,6	0,0	106,0	99,3
11	279,8	293,8	47,3	0,0	24,5	107,1	94,8
12	285,5	262,7	89,5	0,0	46,3	103,4	85,7
TOTAL	3378,4 kWh	4427,1 kWh	167,6 kWh	441,8 kWh	86,7 L	1204,4 kWh	1034,9 kWh

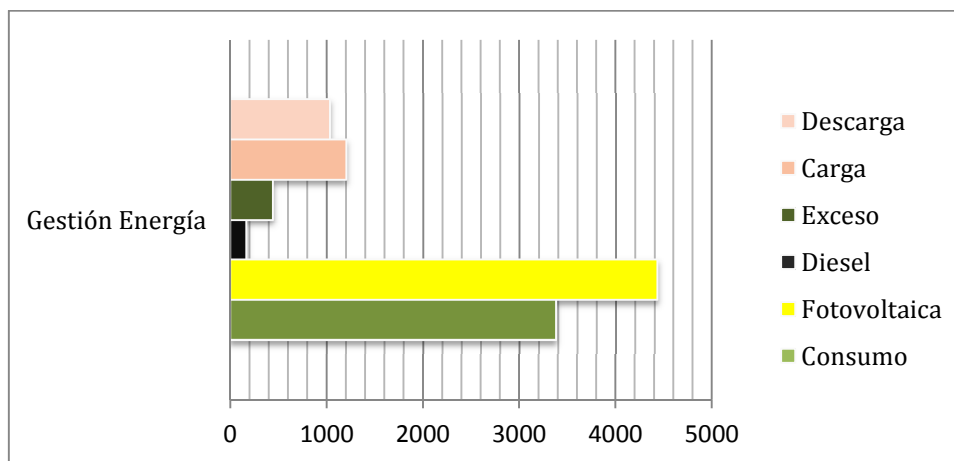


Figura 5.10 Gráfica resultados energéticos caso 3

El generador diésel entrará en funcionamiento en los meses en los que la generación fotovoltaica junto con la descarga de baterías no sea suficiente para abastecer la carga.

De este modo se puede observar que, tanto en Enero como en los dos últimos meses del año el consumo supera la generación fotovoltaica y se produce la entrada en funcionamiento del generador diésel. Aun teniendo unas condiciones solares muy buenas debido al emplazamiento, se puede observar que en algunos instantes del año el uso del generador diésel evitará tener grandes sistemas de almacenamiento o un mayor número de paneles. La potencia del generador representará el 5% de la potencia que se consume, sin embargo, el sistema de respaldo asegurará el cumplimiento de la restricción principal de energía no servida (0%).

De la simulación se pueden extraer los siguientes resultados gráficos:

- La *potencia media mensual y anual* son:

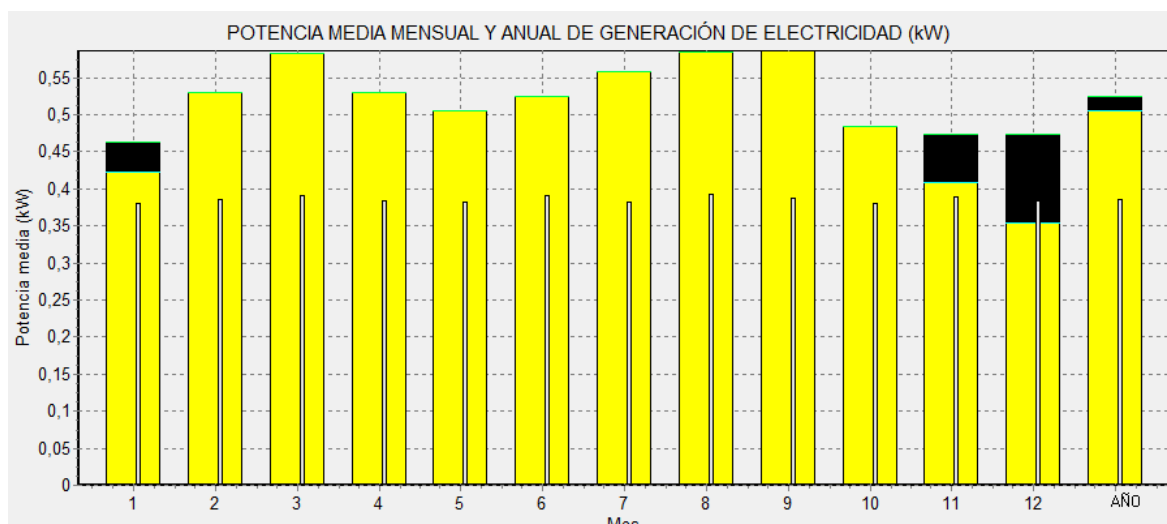


Figura 5.11 Valores mensuales y anuales de generación. (Extraído iHoga)

- Los *valores mensuales energéticos* de cada elemento.

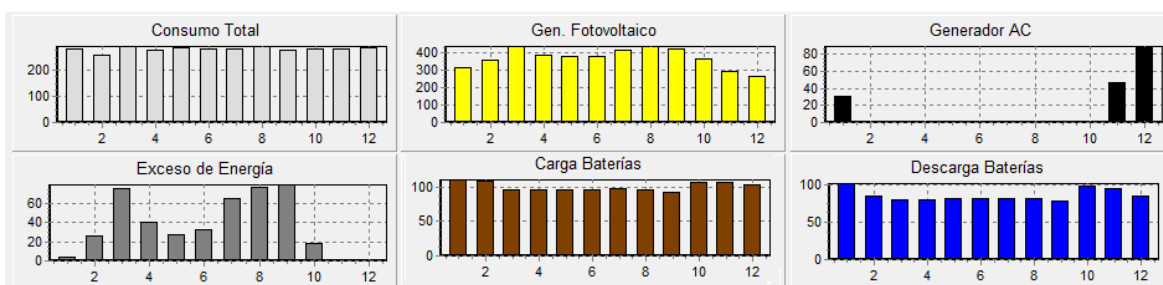


Figura 5.12 Valores mensuales y anuales de generación. (Extraído iHoga)

En ellos se puede apreciar visualmente el funcionamiento del generador diésel cuando el consumo total en los meses Enero, Noviembre y Diciembre supera a la energía generada por los paneles solares, o la descarga que se ha producido en las baterías está muy próxima al 100%.

Se pueden graficar los valores energéticos extraídos del informe proporcionado por el programa para el día 11 de Enero para representar a modo de ejemplo el comportamiento del sistema en cuanto a carga y descarga de baterías y al funcionamiento del grupo diésel en función de las necesidades del sistema.

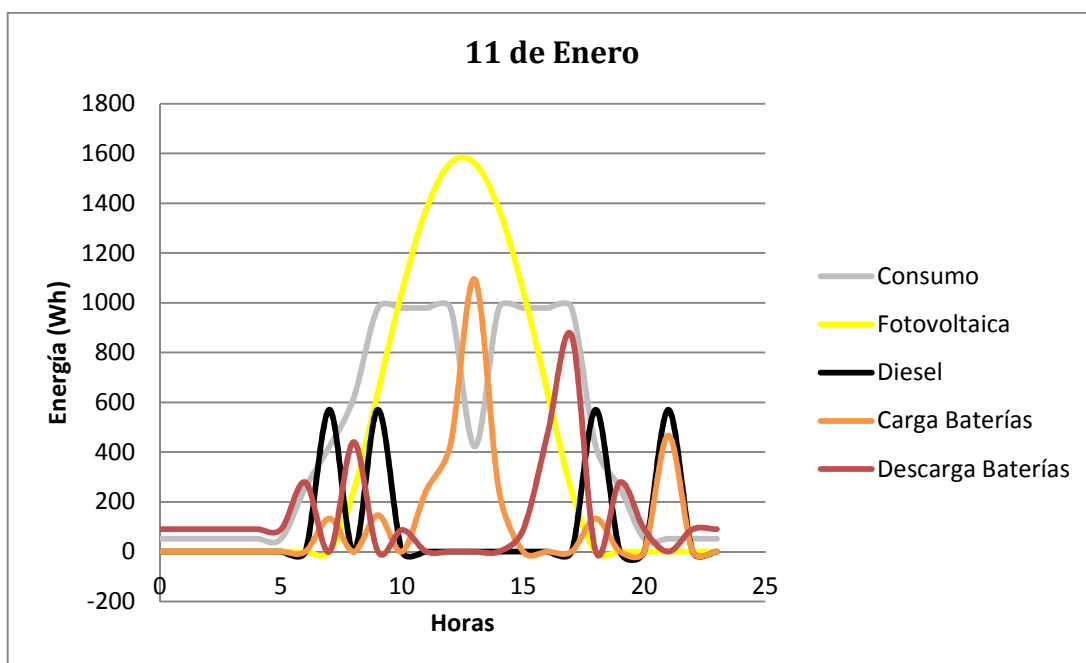


Figura 5.13 Resultados energéticos 11 de Enero

Se puede observar que durante las horas en las que entra en funcionamiento el grupo diésel, la energía producida por los paneles es muy reducida y la línea de descarga de baterías descenderá, produciéndose así un aumento en la línea de carga de baterías. En el momento del día en que se reduce el consumo, entre las 13.00 y las 14.00 horas, la energía producida por los paneles llega a su máximo diario y será utilizada para la cara de baterías. Tras la carga, en torno a la hora 16.00 en que el consumo se mantiene en su máximo diario, esta energía almacenada se descargará hasta el SOCmín, dando paso posteriormente a la entrada nuevamente del grupo diésel de generación.

- Resultados económicos:

Al igual que se hiciera para el resto de casos, se mostrará un informe de costes para la una vida de la instalación de 25 años. La financiación simulada es exactamente igual que en los otros dos y los costes negativos representan la venta de los componentes de la instalación para dar por finalizada la explotación del sistema.

Tabla 5.10 Resultados simulación Caso 3

AÑO	PANELES	O&M	BATERÍAS	O&M	GEN.	O&M	COMB.	INV.	REG.	FINANC.	TOTAL
0	4704,0	0,0	3957,6	0,0	800,0	0,0	0,0	1200,0	1820,7	4224,6	4224,6
1	0,0	104,0	0,0	87,9	0,0	40,4	113,8	0,0	0,0	1444,6	1790,6
2	0,0	102,0	0,0	86,2	0,0	39,6	114,9	0,0	0,0	1389,0	1731,7
3	0,0	100,0	0,0	84,5	0,0	38,8	116,0	0,0	0,0	1335,6	1675,0
4	0,0	98,1	0,0	82,9	0,0	38,1	117,1	0,0	0,0	1284,2	1620,4
5	0,0	96,2	0,0	81,3	0,0	37,4	118,3	0,0	0,0	1234,8	1567,9
6	0,0	94,3	0,0	79,7	0,0	36,6	119,4	0,0	0,0	1187,3	1517,4
7	0,0	92,5	0,0	78,2	0,0	35,9	120,6	0,0	0,0	1141,7	1468,9
8	0,0	90,7	0,0	76,7	0,0	35,2	121,7	0,0	0,0	1097,7	1422,1
9	0,0	89,0	0,0	75,2	0,0	34,6	122,9	0,0	0,0	1055,5	1377,2
10	0,0	87,3	0,0	73,8	0,0	33,9	124,1	988,2	1499,4	1014,9	3821,5
11	0,0	85,6	0,0	72,4	0,0	33,2	125,3	0,0	0,0	0,0	316,5
12	0,0	84,0	0,0	71,0	0,0	32,6	126,5	0,0	0,0	0,0	314,0
13	0,0	82,4	0,0	69,6	0,0	32,0	127,7	0,0	0,0	0,0	311,6
14	0,0	80,8	0,0	68,3	0,0	31,4	128,9	0,0	0,0	0,0	309,3
15	0,0	79,2	0,0	67,0	0,0	30,8	130,1	0,0	0,0	0,0	307,1
16	0,0	77,7	0,0	65,7	0,0	30,2	131,4	0,0	0,0	0,0	304,9
17	0,0	76,2	0,0	64,4	0,0	29,6	132,7	0,0	0,0	0,0	302,9
18	0,0	74,7	1358,0	63,2	0,0	29,0	133,9	0,0	0,0	0,0	1658,9
19	0,0	73,3	0,0	62,0	0,0	28,5	135,2	0,0	0,0	0,0	298,9
20	0,0	71,9	0,0	60,8	0,0	27,9	136,5	813,8	1234,7	0,0	2345,6
21	0,0	70,5	0,0	59,6	0,0	27,4	137,8	0,0	0,0	0,0	295,3
22	0,0	69,1	0,0	58,4	0,0	26,9	139,2	0,0	0,0	0,0	293,6
23	0,0	67,8	0,0	57,3	0,0	26,3	140,5	0,0	0,0	0,0	292,0
24	0,0	66,5	0,0	56,2	0,0	25,8	141,8	0,0	0,0	0,0	290,4
25	0,0	65,2	-547,5	55,1	0,0	25,3	143,2	-369,3	-560,2	0,0	-1188,1
TOTAL	4704,0	2079,0	4768,1	1757,4	800,0	807,3	3199,5	2632,8	3994,6	16409,9	28670,2 €

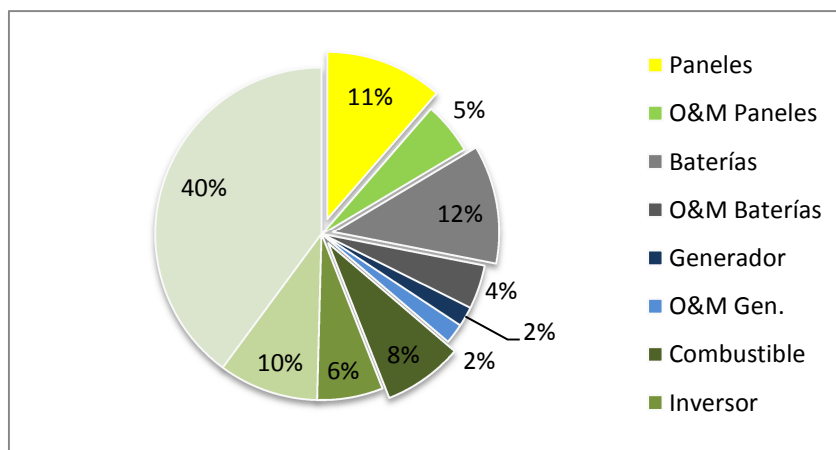


Figura 5.14 Gráfica resultados económicos caso 3

Tanto los paneles fotovoltaicos como las baterías y el generador diésel tienen unos costes de operación y mantenimiento anuales en concepto de recambios y previsión de averías. Además el rectificador y el inversor tienen una vida estimada de 10 años, el décimo año de explotación será necesario sustituirlos, al igual que pasará con el banco de baterías en el año decimoctavo.

Los tres elementos principales de la instalación, paneles solares, generador y baterías representan el 31% de los costes totales, y el mayor peso en los costes en este caso lo representa la simulación de una hipotética financiación.

6. RESULTADOS Y CONCLUSIONES:

Tras la ejecución de los distintos casos es necesario hacer una comparación entre ellos para entender el funcionamiento del sistema. Durante el proceso de dimensionado se han mantenido los elementos a disposición del programa constantes, es decir, los modelos de cada uno de ellos utilizados se han descrito durante el capítulo 5. Estudiados los componentes y el comportamiento de la instalación en función de las distintas configuraciones, en este capítulo se resaltarán las diferencias principales entre ellas. Al igual que se viene haciendo en apartados anteriores, se compararán número de componentes, resultados energéticos y resultados económicos.

6.1 Componentes

Tabla 6.1 Resultados simulaciones

COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN			
	CASO 1	CASO 2	CASO 3
Paneles	<i>2sx10p Atersa A240P</i>	-	<i>2sx8p Atersa A240P</i>
Baterías	<i>Baterías OPZS 1340Ah</i>	-	<i>Baterías 390 Ah</i>
Generador	-	<i>Gen.AC Diésel 1,9KVA</i>	<i>Gen. AC Diésel 1,9 KVA</i>
Inversor	<i>Inversor 1800VA</i>	-	<i>Inversor 1800VA</i>
Regulador	<i>Regulador PV 4120</i>	-	<i>Regulador 4100</i>

La principal restricción impuesta a los tres casos de dimensionado es que en ningún momento se produzca el desabastecimiento de energía. Para cumplir esa pauta, cuando se actúa sin un sistema de respaldo es necesario que la capacidad de energía que se pueda almacenar para tener una autonomía sea mayor, por ello, el sistema de acumulación utilizado para el primer caso tiene una capacidad que triplica a un sistema con generador diésel de apoyo. Al igual que ocurre con el número de baterías, la disponibilidad de un sistema de apoyo en la generación minimiza el número de paneles que hay que utilizar en la instalación, reduciendo así, parte de los costes totales.

Si se analiza el regulador de carga, con un sistema que no disponga del generador diésel, la carga que debe gestionar se prevé mayor que en otro en el que si cuente con él, por ello, iHoga en el primer caso dispone a la instalación de un regulador de carga algo superior que en

el caso 3. La diferencia es mínima, hay que tener en cuenta que en algunas ocasiones el generador diésel funcionará también para la carga de baterías de modo que parte de la energía generada por el grupo de apoyo será gestionada también por el regulador de carga.

6.2 Resultados energéticos

Tabla 6.2 Resultados energéticos

RESULTADOS ENERGÉTICOS					
		CASO 1	CASO 2	CASO 3	
MES	CONSUMO	FOTOVOLTAICA	DIESEL	FOTOVOLTAICA	DIESEL
1	282,8	388,6	489,2	314,1	30,8
2	259,3	440	444,3	355,6	0,0
3	291,2	535,7	495,5	433,0	0,0
4	276,1	472,6	475,7	382,0	0,0
5	284,6	465,1	490,6	375,9	0,0
6	281,1	467,5	477,8	377,9	0,0
7	283,9	513,8	488,6	415,3	0,0
8	291,5	537,9	495,1	434,7	0,0
9	279,4	522,3	477,9	422,2	0,0
10	283,1	445,3	489,5	359,9	0,0
11	279,8	363,5	477,6	293,8	47,3
12	285,5	325	492,9	262,7	89,5
TOTAL	3378,4 kWh	5477,4 kWh	5794,3 kWh	4427,1 kWh	167,6 kWh

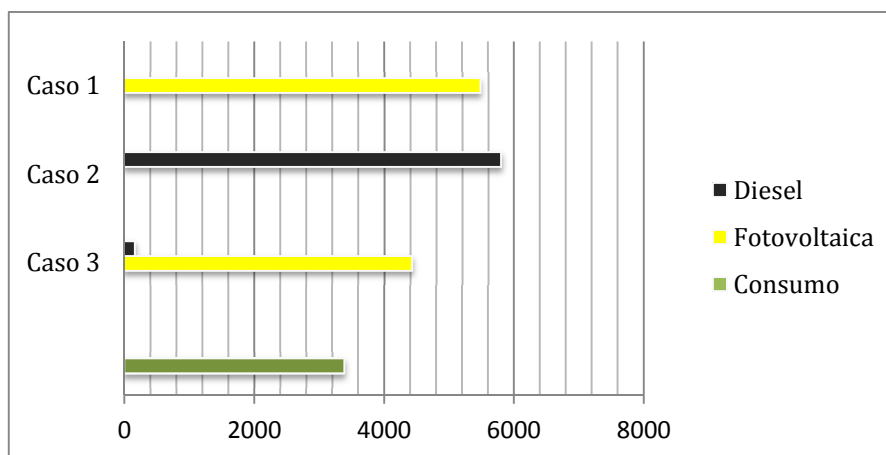


Figura 6.1 Gráfica resultados energéticos

El consumo permanece constante durante los tres casos de estudio, la principal diferencia es la cantidad de energía que será generada por los paneles en función de su número y de la

disponibilidad de un sistema de apoyo. En el primero de los casos, serán los generadores fotovoltaicos los que abastezcan todo el consumo, con ayuda del sistema de almacenamiento de energía para su gestión. En el segundo, será el generador diésel el que genere toda la energía, produciendo un exceso debido a la potencia mínima (porcentaje inamovible de la potencia nominal), para asegurar un funcionamiento ininterrumpido a lo largo de todo el año. Si bien es cierto que parte de la energía será desechada, el dimensionado lo requiere para cumplir las restricciones impuestas de energía (0% Energía no servida).

En el último caso se puede observar que la generación por parte de los paneles se ve reducida con la reducción del número de estos y gracias a la seguridad de respaldo en la generación que proporciona el grupo de apoyo funcionando durante los meses de menos energía solar.

6.3 Resultados económicos

Tabla 6.3 Resultados económicos

RESULTADOS ECONÓMICOS			
	CASO 1	CASO 2	CASO 3
PANELES	5760,00	-	4704,00
O&M	2353,60	-	2079,00
BATERÍAS	11913,10	-	4768,10
O&M	2920,10	-	1757,40
GENERADOR	-	14176,10	800,00
O&M	-	24054,20	807,30
COMBUSTIBLE		102607,20	3199,50
INVERSOR	2632,80	-	2632,80
REGULADOR	4398,00	-	3994,60
FINANCIACIÓN	23981,80	2524,10	16409,90
TOTAL	35.106,70 €	142.561,60 €	28.670,20 €

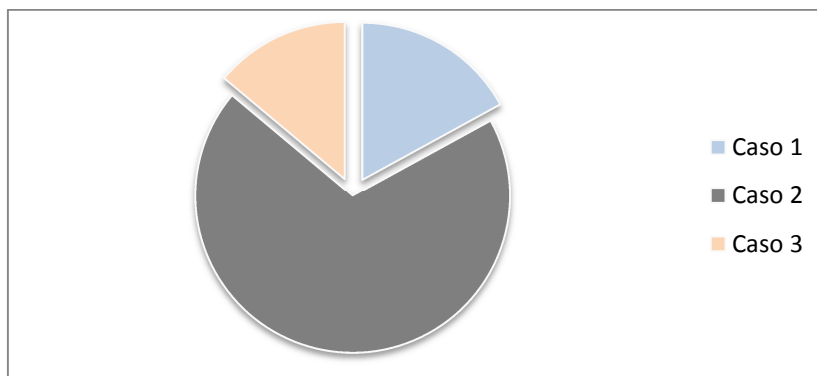


Figura 6.2 Gráfica resultados económicos

Tanto los paneles fotovoltaicos como las baterías y los el generador diésel tienen implícitos unos costes anuales de operación y mantenimiento correlativo al coste de adquisición y el número de elementos. Los costes de operación y montaje de los paneles en el caso 1 serán mayores que en el caso 3 ,por ese motivo al tener mayor número de componentes, en este caso, con el mismo coste de adquisición debido a la invariabilidad del modelo, la previsión anual de recambios, imprevistos, operación, etc. son mayores. Exactamente lo mismo ocurrirá entre los casos 1 y 3 con el sistema de almacenamiento, al tener un mayor número, de mayor capacidad y con unos costes de adquisición más elevados, los de operación también lo serán. No serán estos los que más peso ejerzan sobre el resultado de precio final, sino el combustible necesario anualmente. .

En un sistema con una única generación diésel, caso 2, los costes de combustible representan más de un 70 % de los costes totales de la instalación. Como muestran los casos 1 y 3, es preferible hacer un esfuerzo económico en la inversión inicial, tanto con el sistema de generación fotovoltaico como en el sistema de almacenamiento, para evitar el consumo de grandes cantidades de combustible.

Por otro lado, queda demostrado que para la misma instalación, o incluso con un número menor de paneles, la implantación de un sistema de apoyo asegura una ininterrupción del suministro que de otro modo debe ser satisfecha con una mayor capacidad del sistema de almacenamiento y un número mayor de generadores. Este respaldo propicia una ligera disminución en los costes totales de la instalación, aproximadamente un 20% menos.

7. CRONOGRAMA:

Durante este capítulo se muestra la distribución del tiempo empleado para la elaboración del trabajo de fin de grado, con el desglose tanto de las fases que han compuesto el trabajo como las horas que se han empleado para cada una de ellas.

Tabla 7.1 Distribución de tiempo para elaboración TFG

Trabajo realizado	Tiempo en horas
Búsqueda y lectura de información	50
Redacción Capítulos 1,2,3,4	60
Diseño figuras Autocad	5
Lectura y comprensión Manual iHoga	20
Adaptación y primeras pruebas iHoga	15
Simulación de casos iHoga	60
Análisis y comparación resultados	15
Redacción Capítulos 5,6,7,8 y Anexos	70
Elaboración presentación	20
TOTAL	315 Horas

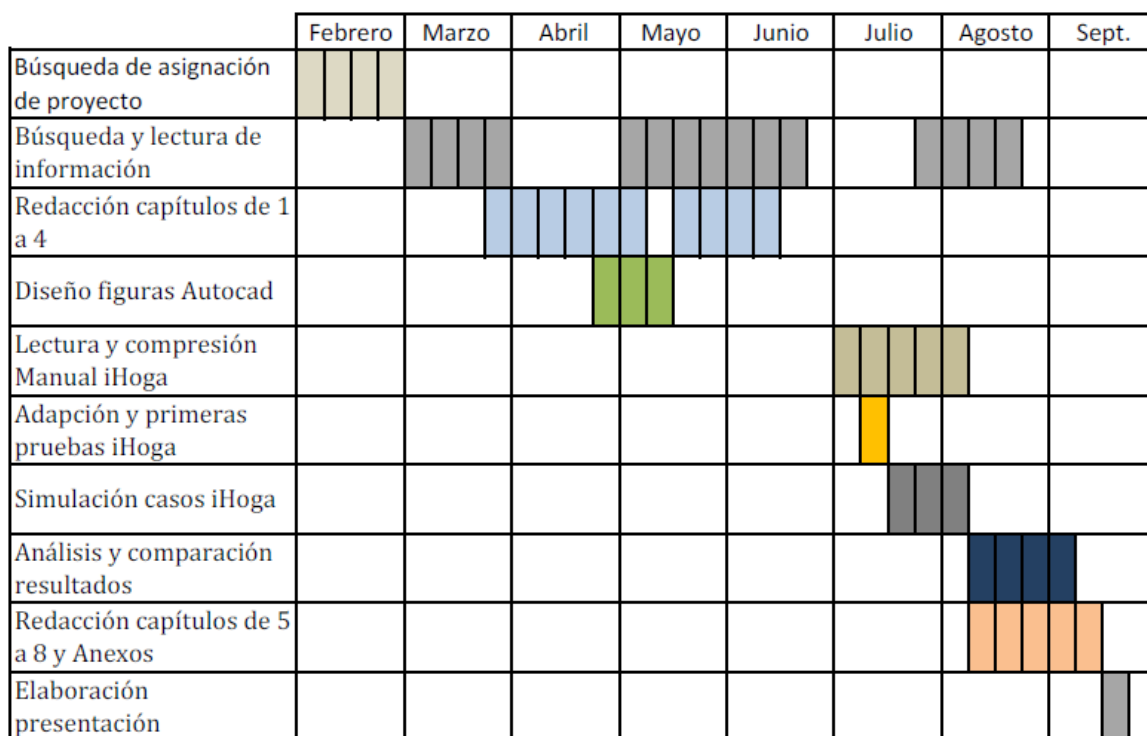


Figura 7.1 Diagrama de Gantt

ANEXO 1: Tarifa Atersa Agosto 2014

LISTA DE PRECIOS NACIONAL - 2014 (Agosto)

CODIGO	DESCRIPCION	MODELO	PVP EUROS
MÓDULOS FOTOVOLTAICOS			
1008042	Cristalino 5 Wp, pequeñas aplicaciones. Tolerancia +/- 10% 12Vn.....	A-5P	32,50
1008021	Cristalino 10 Wp, pequeñas aplicaciones. Tolerancia +/- 10% 12Vn.....	A-10P	43,00
1008023	Cristalino 20 Wp, pequeñas aplicaciones. Tolerancia +/- 10% 12Vn.....	A-20P	80,00
	Cristalino 50 Wp, 36 mitades de células de 5". Marco Hook 1, caja Quad Tolerancia +/- 8% 12Vn.....	A-50M	166,00
	Cristalino 75Wp, 36 mitades de células de 6". Marco Hook 1, caja Quad. Tolerancia +/- 8% 12Vn.....	A-75P	199,50
	Cristalino 100 Wp, 36 células de 5". Marco Hook 1, caja Quad. Tolerancia +/- 5% 12Vn.....	A-100M	214,00
	Cristalino 150 Wp, 36 células de 6". Marco Hook 1, caja Quad. Tolerancia +/- 5% 12Vn.....	A-150P	228,00
	Cristalino 200 Wp, 72 células de 5". Marco Hook1, caja Quad, conexión rápida. Tolerancia +/- 5% 24Vn.....	A-200M	388,00
GAMA ULTRA			
	Cristalino 240 Wp, 60 células de 6". Marco Hook4, caja TYCO conexión rápida. Tolerancia 0/+5Wp.....	A-240P	288,00
	Cristalino 245 Wp, 60 células de 6". Marco Hook4, caja TYCO, conexión rápida. Tolerancia 0/+5Wp.....	A-245P	294,00
	Cristalino 250 Wp, 60 células de 6". Marco Hook4, caja TYCO, conexión rápida. Tolerancia 0/+5Wp.....	A-250P	310,00
	Cristalino 250 Wp, 60 células de 6". Marco Hook4, caja TYCO, conexión rápida. Tolerancia 0/+5Wp.....	A-250M	335,00
	Cristalino 255 Wp, 60 células de 6". Marco Hook4, caja TYCO, conexión rápida. Tolerancia 0/+5Wp.....	A-255M	346,80
	Cristalino 260 Wp, 60 células de 6". Marco Hook4, caja TYCO, conexión rápida. Tolerancia 0/+5Wp.....	A-260M	358,80
	Cristalino 285 Wp, 72 células de 6". Marco Hook4, caja TYCO, conexión rápida. Tolerancia 0/+5Wp.....	A-285P	339,20
	Cristalino 290 Wp, 72 células de 6". Marco Hook4, caja TYCO, conexión rápida. Tolerancia 0/+5Wp.....	A-290P	350,90
	Cristalino 295 Wp, 72 células de 6". Marco Hook4, caja TYCO, conexión rápida. Tolerancia 0/+5Wp.....	A-295P	357,00
	Cristalino 300 Wp, 72 células de 6". Marco Hook4, caja TYCO, conexión rápida. Tolerancia 0/+5Wp.....	A-300P	363,00
	Cristalino 305 Wp, 72 células de 6". Marco Hook4, caja TYCO, conexión rápida. Tolerancia 0/+5Wp.....	A-305M	405,70
	Cristalino 310 Wp, 72 células de 6". Marco Hook4, caja TYCO, conexión rápida. Tolerancia 0/+5Wp.....	A-310M	418,50
	Cristalino 315 Wp, 72 células de 6". Marco Hook4, caja TYCO, conexión rápida. Tolerancia 0/+5Wp.....	A-315M	431,60
GAMA OPTIMUM GSE (dentro y fuera de la UE)			
	Cristalino 230 Wp, 60 células de 6". Marco anodizado, caja de conex. IP65. Tolerancia 0/+5Wp.....	A-230P GSE	250,70
	Cristalino 240 Wp, 60 células de 6". Marco anodizado, caja de conex. IP65. Tolerancia 0/+5Wp.....	A-240P GSE	261,60
	Cristalino 250 Wp, 60 células de 6". Marco anodizado, caja de conex. IP65. Tolerancia 0/+5Wp.....	A-250P GSE	275,00
	Cristalino 260 Wp, 60 células de 6". Marco anodizado, caja de conex. IP65. Tolerancia 0/+5Wp.....	A-260P GSE	317,20
	Cristalino 285 Wp, 72 células de 6". Marco anodizado, caja de conex. IP65. Tolerancia 0/+5Wp.....	A-285P GSE	310,70
	Cristalino 290 Wp, 72 células de 6". Marco anodizado, caja de conex. IP65. Tolerancia 0/+5Wp.....	A-290P GSE	316,10
	Cristalino 300 Wp, 72 células de 6". Marco anodizado, caja de conex. IP65. Tolerancia 0/+5Wp.....	A-300P GSE	330,00
	Cristalino 310 Wp, 72 células de 6". Marco anodizado, caja de conex. IP65. Tolerancia 0/+5Wp.....	A-310P GSE	378,20
GAMA OPTIMUM GS (Exclusivamete fuera de la UE y USA)			
	Cristalino 230 Wp, 60 células de 6". Marco anodizado, caja de conex. IP67. Tolerancia 0/+5Wp.....	A-230P GS	232,30
	Cristalino 235 Wp, 60 células de 6". Marco anodizado, caja de conex. IP67. Tolerancia 0/+5Wp.....	A-235P GS	237,40
	Cristalino 240 Wp, 60 células de 6". Marco anodizado, caja de conex. IP67. Tolerancia 0/+5Wp.....	A-240P GS	242,40
	Cristalino 250 Wp, 60 células de 6". Marco anodizado, caja de conex. IP67. Tolerancia 0/+5Wp.....	A-250P GS	257,50
	Cristalino 255 Wp, 60 células de 6". Marco anodizado, caja de conex. IP67. Tolerancia 0/+5Wp.....	A-255P GS	280,50
	Cristalino 260 Wp, 60 células de 6". Marco anodizado, caja de conex. IP67. Tolerancia 0/+5Wp.....	A-260P GS	306,80
	Cristalino 285 Wp, 72 células de 6". Marco anodizado, caja de conex. IP67. Tolerancia 0/+5Wp.....	A-285P GS	287,90
	Cristalino 290 Wp, 72 células de 6". Marco anodizado, caja de conex. IP67. Tolerancia 0/+5Wp.....	A-290P GS	292,90
	Cristalino 295 Wp, 72 células de 6". Marco anodizado, caja de conex. IP67. Tolerancia 0/+5Wp.....	A-295P GS	303,90
	Cristalino 300 Wp, 72 células de 6". Marco anodizado, caja de conex. IP67. Tolerancia 0/+5Wp.....	A-300P GS	309,00
	Cristalino 305 Wp, 72 células de 6". Marco anodizado, caja de conex. IP67. Tolerancia 0/+5Wp.....	A-305P GS	335,50
	Cristalino 310 Wp, 72 células de 6". Marco anodizado, caja de conex. IP67. Tolerancia 0/+5Wp.....	A-310P GS	365,80
ACCESORIOS DE CONEXIONADO PARA MÓDULOS			
1501037	Grapa Hook M8 Aluminio Intermedia (bolsa de 25 unidades)		18,80
1501038	Grapa Hook M8 Aluminio Final (bolsa de 25 unidades)		17,50
1502013	Grapa Hook M8 Inox Toma Tierra Intermedia (bolsa de 25 unidades)		76,90
1502014	Grapa Hook M8 Inox Toma Tierra Final (bolsa de 25 unidades)		51,90
1501039	Tornillería Hook M8 Estructura (bolsa de 25 unidades)		12,10
1501040	Tornillería Hook M8 Carril (bolsa de 25 unidades)		28,30
1501041	Kit Pinza Intermedia para laminados (paquete de 50 unidades)		351,30
1501042	Kit Pinza Final para laminados (paquete de 50 unidades)		351,30
8201190	Cable de conexión para módulos 4 mm - rollo de 100 metros	CS4MM	351,30
8201294	Conector macho y hembra con bloqueo (bolsa de 25+25) 4mm		145,60
8201189	Conector macho y hembra con bloqueo (bolsa de 25+25) 6mm.....		162,50
8201191	Maleta de herramientas completa HS		1.625,00
8201193	Herramienta de pelado HS	HPHS	143,80
8201192	Herramienta de crimpado HS	HCHS	425,00
8201332	MC Conector macho y hembra (bolsa de 25+25) 4-6 mm.....		148,80
8201333	Herramienta de crimpado MC42, 5-6 mm		589,10
REGULADORES DE CARGA			
2002110	MINO V2 bitensión 12/24. I máx. entrada + I máx. salida = 15A	MINOV2/I15	41,10
2002130	MINO V2 bitensión 12/24. I máx. entrada + I máx. salida = 15A, estanco IP-67	MINOV2/I15-E	128,00
2002120	MINO V2 bitensión 12/24. I máx. entrada + I máx. salida = 30 A	MINOV2/I30	51,50
2002140	MINO V2 bitensión 12/24. I máx. entrada + I máx. salida = 30 A, estanco IP-67	MINOV2/I30-E	138,40
2003072	LEO10 16+16 bitensión 12/24V 16A.....	LEO10 16+16 12/24 V	153,20
2003071	LEO10 25+25 bitensión 12/24V 25A.....	LEO10 25+25 12/24 V	158,80
2003070	LEO10 35+35 bitensión 12/24V 35A.....	LEO10 35+35 12/24 V	188,30
2003073	LEO10 35+35 48V 35A.....	LEO10 35+35 48 V	257,20
2004051	LEO 20 50A Bitensión 12/24 V Básico.....	LEO20 Básico 12/24 V	382,20
2004050	LEO 20 50A Bitensión 12/24 V Maestro.....	LEO20 Maestro 12/24 V	544,20
2004052	LEO 20 50A Bitensión 12/24 V Esclavo.....	LEO20 Esclavo 12/24 V	371,20
2004053	LEO 20 50A 48 V Maestro.....	LEO20 Maestro 48 V	634,10
2004054	LEO 20 50A 48 V Esclavo.....	LEO20 Esclavo 48 V	444,70
2009011	Shunt LEO 20 + Latiguillo*.....		117,20
2009012	Accesorio sonda temperatura LEO 20**.....		34,10
2004010	LEO2 30/10A 48V tecnología digital y corrección automática de niveles de carga	LEO2/30/10-48	341,40
2004015	LEO2 30/10A 48V tecnología digital, corrección automática de niveles de carga y diodo bloqueo	LEO2/30/10-48-DB	378,80
2005110	LEO3 75A 12V tecnología digital y corrección automática de niveles de carga	LEO3/75-12	1.087,80
2005039	LEO3 125A 12V tecnología digital y corrección automática de niveles de carga	LEO3/125-12	1.107,20
Todos los reguladores van equipados con voltímetro y amperímetro digital excepto la serie MINO			
La gama LEO2, LEO 20 Maestro y LEO3 incorporan alarmas por relés libres de potencial para señales remotas.			
El sistema de regulación LEO20 permite sistemas de hasta 400 A. Consulte con el departamento comercial.			
*Estos accesorios no son compatibles con el LEO 10. Consulte con nuestro dpto. Comercial en caso de necesitarlos para este modelo.			
**Sonda de temperatura sólo compatible con LEO 20 Maestro.			
Modelos LEO3 se presentan en caja metálica mural con grado de protección IP55. Consultar plazo de entrega			
2009500	Regulador Seguidor MPPT-50C 50A.....	MPPT-50C	575,60
2009501	Regulador Seguidor MPPT-80C 80A.....	MPPT-80C	879,30
REGULACIÓN Y CONTROL			
2007011	Regulador + interruptor crepuscular con temporizador automático FAR-50 12V estanco	FAR-50-12	157,00

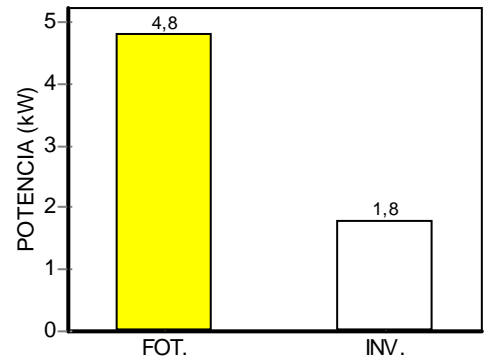
ANEXO 2: Informe iHoga Caso 1

Proyecto: Caso 1.hoga. Config. nº 0

Tensión DC: 48 V. Tensión AC: 230 V

COMPONENTES

Paneles PV SiP24-Atersa: A240P (240 Wp): 2 serie x 10 par. P total = 4,8 kWp, 60° inc.
Baterías OPZS-Hawker: TYS-12 (Cn=1340 A-h): 24 s. x 1 p. E total = 64,3 kWh (4,7 d.aut)
Sin Aerogeneradores
Sin Turbina Hid.
Sin Generador AC
Sin Pila Comb.
Sin Electrolizador
Inversor STECA: SOLARIX 1200X2, pot. nominal 1800 VA
Regulador PV baterías STECA: P TAROM 4120 de 120 A
Sin Rectificador-cargador baterías



ESTRATEGIA DE CONTROL:

SEGUIMIENTO DE LA DEMANDA. SOC mín. baterías = 20 %

SI LA POTENCIA PRODUCIDA POR LAS FUENTES RENOVABLES ES SUPERIOR AL CONSUMO: CARGA

Se cargan las Baterías con la potencia sobrante

SI LA POTENCIA PRODUCIDA POR LAS FUENTES RENOVABLES ES INFERIOR AL CONSUMO: DESCARGA

Toda la potencia que falta deben suministrarla las baterías. Si no pueden, como no tienen apoyo, la energía que falte será Energía No Suministrada.

No existe Generador AC

No existe Pila de Combustible

Coste inicial de la inversión: 20580 €. Préstamo del 70 %, cuota anual: 2195,5 €. Coste combust. gen. AC 1º año: 0 €
COSTES PERIODO ESTUDIO (25 años) (VAN): (frente a caso de solo RED AC, 3378kWh/año, C.total (VAN) de 16162 €)

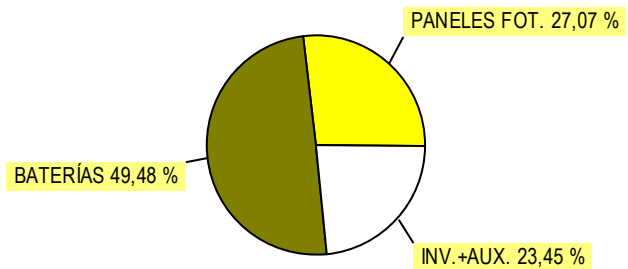
Coste Total del sistema (VAN): 35106 €. Coste actualizado de la energía suministrada: 0,42 €/kWh

Coste Grupo Fotovoltaico (VAN): 8114 €

Coste Banco Baterías (VAN): 14833 €

Coste Auxiliares (VAN): 4398 €

Coste Inversor (VAN): 2632 €



BALANCE DE ENERGÍAS DEL SISTEMA A LO LARGO DE 1 AÑO:

Energía Total Demandada: 3378 kWh/año. Cubierta por ren.100%

Energía No Servida: 0 kWh/año (0 % de la demandada)

Energía producida en Exceso: 1355 kWh/año

Energía generada por los Paneles Fotov.: 5477 kWh/año

Energía generada por los Aerogeneradores: 0 kWh/año

Energía generada por la Turbina Hid.: 0 kWh/año

Energía generada por el Generador AC: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento del Generador AC: 0 h/año

Energía generada por la Pila de Combustible: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento de la Pila de Comb.: 0 h/año

Energía consumida por el Electrolizador: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento del Electrolizador: 0 h/año

Energía cargada en las baterías: 1021 kWh/año

Energía descargada desde las baterías: 1055 kWh/año

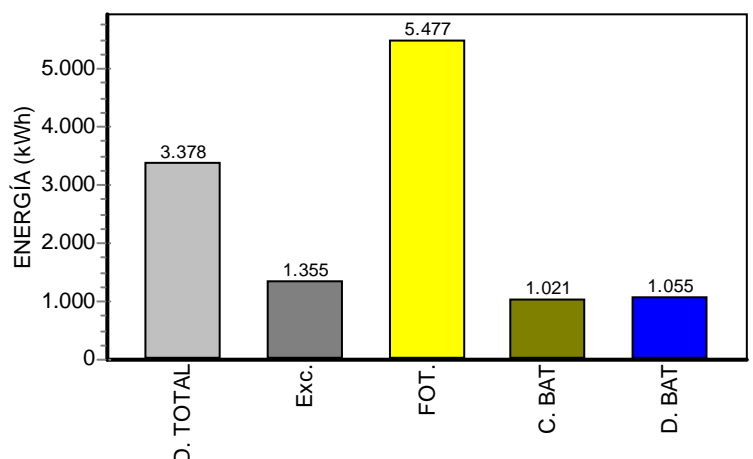
Vida de las baterías: 18 años

E. Eléctrica Vendida a Red AC: 0 kWh/año

E. Eléctrica Comprada a Red AC: 0 kWh/año

Emisiones totales de CO₂: 350 kg CO₂/año; Emisiones solo del generador AC(debidas al consumo de 0 litro/año): 0 kg CO₂/año

H₂ vendido anual: 0 kg H₂/año /// IDH: 0,6053. Empleos creados durante vida sistema: 0,1191



ANEXO 3: Informe iHoga Caso 2

Proyecto: Caso 2.hoga. Config. nº 0

Tensión DC: 24 V. Tensión AC: 230 V

COMPONENTES

Sin Paneles Fotov.

Sin Baterías

Sin Aerogeneradores

Sin Turbina Hid.

Gen. AC Diesel 1.9kVA de pot. nominal 1,9 kVA

Sin Pila Comb.

Sin Electrolizador

SIN INVERSOR

Rectificador cargador bat. (conversor AC/DC) de 1900 W

ESTRATEGIA DE CONTROL:

SI LA POTENCIA PRODUCIDA POR LAS FUENTES RENOVABLES ES SUPERIOR AL CONSUMO: CARGA

Al no haber baterías ni electrolizador la potencia sobrante se pierde o se vende a la red

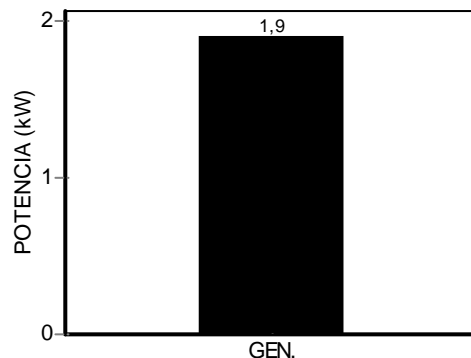
SI LA POTENCIA PRODUCIDA POR LAS FUENTES RENOVABLES ES INFERIOR AL CONSUMO: DESCARGA

Toda la potencia que falta debe suministrarla el Generador AC. Si no puede, como no tiene apoyo, la energía que falte será Energía No Suministrada.

No existen baterías

No existe Pila de Combustible

Potencia mínima de funcionamiento del Generador AC : 570 W



Coste inicial de la inversión: 2166 €. Préstamo del 70 %, cuota anual: 231,1 €. Coste combust. gen. AC 1º año: 0 €

COSTES PERIODO ESTUDIO (25 años) (VAN): (frente a caso de solo RED AC, 3373kWh/año, C.total (VAN) de 16145 €)

Coste Total del sistema (VAN): 2524 €. Coste actualizado de la energía suministrada: 0,03 €/kWh

Coste Generador AC(VAN): 800 €

BALANCE DE ENERGÍAS DEL SISTEMA A LO LARGO DE 1 AÑO:

Energía Total Demandada: 3373 kWh/año. Cubierta por ren.100%

Energía No Servida: 0 kWh/año (0 % de la demandada)

Energía producida en Exceso: 0 kWh/año

Energía generada por los Paneles Fotov.: 0 kWh/año

Energía generada por los Aerogeneradores: 0 kWh/año

Energía generada por la Turbina Hid.: 0 kWh/año

Energía generada por el Generador AC: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento del Generador AC: 0 h/año

Energía generada por la Pila de Combustible: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento de la Pila de Comb.: 0 h/año

Energía consumida por el Electrolizador: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento del Electrolizador: 0 h/año

Energía cargada en las baterías: 0 kWh/año

Energía descargada desde las baterías: 0 kWh/año

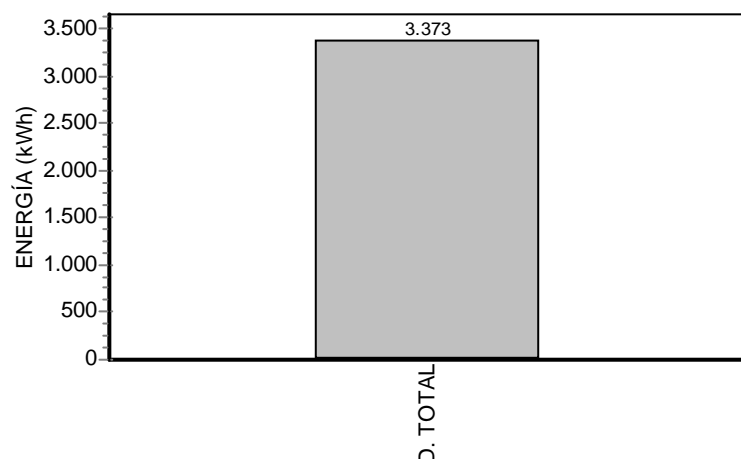
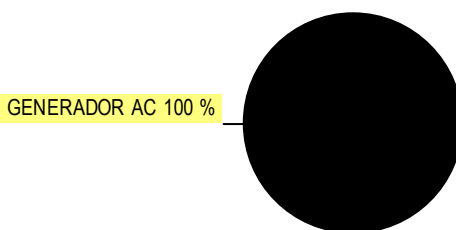
Vida de las baterías: 12 años

E. Eléctrica Vendida a Red AC: 0 kWh/año

E. Eléctrica Comprada a Red AC: 0 kWh/año

Emisiones totales de CO₂ : 0 kg CO₂/año; Emisiones solo del generador AC(debidas al consumo de 0 litro/año): 0 kg CO₂/año

H₂ vendido anual : 0 kg H₂/año //// IDH: 0,6052. Empleos creados durante vida sistema: 0



ANEXO 4: Informe iHoga Caso 3

Proyecto: Caso 3.hoga. Config. nº 0

Tensión DC: 48 V. Tensión AC: 230 V

COMPONENTES

Paneles PV SiP24-Atersa: A245P (245 Wp): 2 serie x 8 par. P total = 3,92 kWp, 60° inc.

Baterías OPZS-Hawker:TVS-5 (Cn=390 A·h): 24 s. x 1 p. E total = 18,7 kWh (1,4 d.aut)

Sin Aerogeneradores

Sin Turbina Hid.

Gen. AC Diesel 1.9kVA de pot. nominal 1,9 kVA

Sin Pila Comb.

Sin Electrolizador

Inversor STECA:SOLARIX 1200X2, pot. nominal 1800 VA

Regulador PV baterías STECA: P TAROM 4100 de 100 A

Rectificador cargador bat. (convertor AC/DC) de 1900 W

ESTRATEGIA DE CONTROL:

SEGUIMIENTO DE LA DEMANDA. SOC mín. baterías = 20 %

SI LA POTENCIA PRODUCIDA POR LAS FUENTES RENOVABLES ES SUPERIOR AL CONSUMO: CARGA

Se cargan las Baterías con la potencia sobrante

SI LA POTENCIA PRODUCIDA POR LAS FUENTES RENOVABLES ES INFERIOR AL CONSUMO: DESCARGA

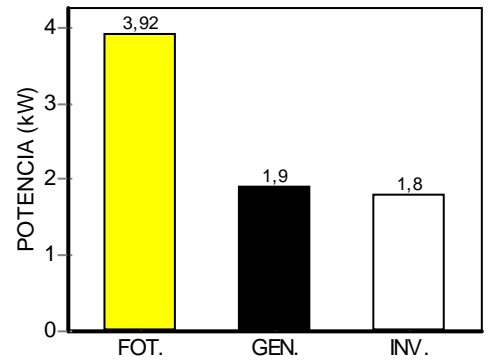
La potencia que falta para cubrir el consumo la dan las baterías (si no pueden suministrarla toda, el resto la dará el Generador AC).

$P_{1gen} = INF\ W$

No existe Pila de Combustible

Potencia mínima de funcionamiento del Generador AC : 570 W

Siempre que la potencia que deba dar el Generador AC sea inferior a la $P_{critica_gen} = 0\ W$, funcionará a la máxima potencia, siempre y cuando no se pierda energía, y cargando las baterías hasta que el SOC alcance el 20 %



Coste inicial de la inversión: 14082 €. Préstamo del 70 %, cuota anual: 1502,3 €. Coste combust. gen.AC 1º año: 112,74 €

COSTES PERIODO ESTUDIO (25 años) (VAN): (frente a caso de solo RED AC, 3378kWh/año, C.total (VAN) de 16162 €)

Coste Total del sistema (VAN): 28670 €. Coste actualizado de la energía suministrada: 0,34 €/kWh

Coste Grupo Fotovoltaico (VAN): 6783 €

Coste Banco Baterías (VAN): 6526 €

Coste Generador AC(VAN): 1607 €

Coste Auxiliares (VAN): 3995 €

Coste Inversor (VAN): 2632 €

Coste Combustible Generador AC (VAN): 3199 €

BALANCE DE ENERGÍAS DEL SISTEMA A LO LARGO DE 1 AÑO:

Energía Total Demandada: 3378 kWh/año. Cubierta por ren.95%

Energía No Servida: 0 kWh/año (0 % de la demandada)

Energía producida en Exceso: 441 kWh/año

Energía generada por los Paneles Fotov.: 4427 kWh/año

Energía generada por los Aerogeneradores: 0 kWh/año

Energía generada por la Turbina Hid.: 0 kWh/año

Energía generada por el Generador AC: 167 kWh/año

Horas de funcionamiento del Generador AC: 294 h/año

Energía generada por la Pila de Combustible: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento de la Pila de Comb.: 0 h/año

Energía consumida por el Electrolizador: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento del Electrolizador: 0 h/año

Energía cargada en las baterías: 1110 kWh/año

Energía descargada desde las baterías: 1122 kWh/año

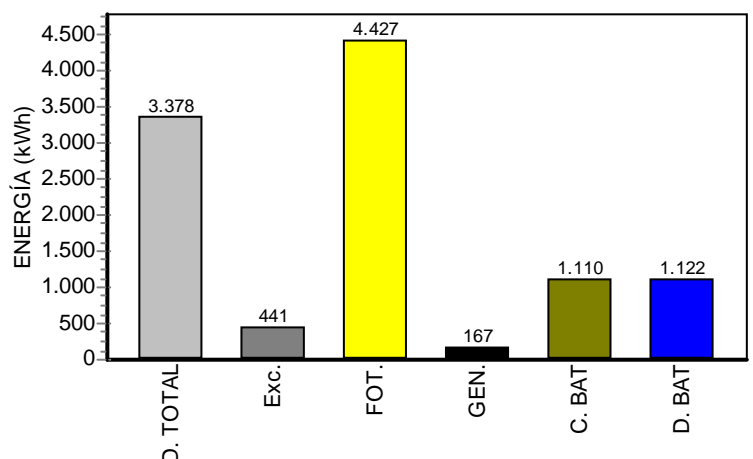
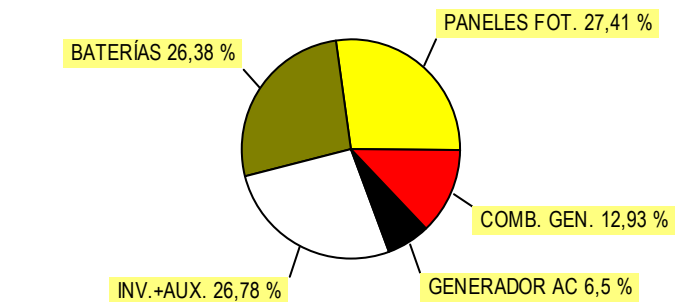
Vida de las baterías: 18 años

E. Eléctrica Vendida a Red AC: 0 kWh/año

E. Eléctrica Comprada a Red AC: 0 kWh/año

Emisiones totales de CO₂ : 498 kg CO₂/año; Emisiones solo del generador AC(debidas al consumo de 86,7 litro/año): 303 kg CO₂/año

H₂ vendido anual : 0 kg H₂/año //// IDH: 0,6053. Empleos creados durante vida sistema: 0,0969



ANEXO 5: Presupuesto

19 de Septiembre de 2014

PROYECTO FIN DE CARRERA

Carlos Garrote Mercuende

01 /2014

OFERTA

CÓDIGO	CANTIDAD	C O N C E P T O	UNITARIO	TOTAL
		INSTALACIÓN CORRIENTE CONTINUA		
1.1	1,00	Ud. Suministro e instalación de conductor de 2x1,5 mm ² Cu V750 Pirelli con aislamiento XLPE para la instalación de un bus de corriente continua desde la generación fotovoltaica hasta elementos de gestión de energía, incluso p.p pequeño material y elementos de conexión. <i>Sobre 40 Mts.</i>	59,20	59,20
1.2	1,00	Ud. Suministro y montaje de conducto de acero de 20 mm ² de sección, incluso p.p cajas de distribución de 100x150 IP42 y pequeño material. <i>Sobre 10 Mts.</i>	41,36	41,36
1.3	1,00	Ud. Suministro e instalación de conducto corrugado forroplast de 20 mm de diámetro para instalación empotrada. <i>Sobre 10 Mts.</i>	9,80	9,80
		INSTALACIÓN CORRIENTE ALTERNA		
2.1	1,00	Ud. Suministro e instalación de conductor de 3x10 mm ² Cu V1000 Pirelli con aislamiento XLPE, incluso p.p de pequeño material y elementos de conexión. <i>Sobre 15 Mts.</i>	274,94	274,94
2.2	1,00	Ud. Suministro e instalación de conductor de 3x6 mm ² Cu V1000 Pirelli con aislamiento XLPE, incluso p.p de pequeño material y elementos de conexión. <i>Sobre 15 Mts.</i>	235,32	235,32
2.3	1,00	Ud. Suministro e instalación de conducto corrugado de 63 mm de diámetro decaplast para instalación enterrada, incluso p.p cajas de registro normalizadas, pequeño material y elementos de conexión. <i>Sobre 10 Mts.</i>	31,40	31,40

CÓDIGO	CANTIDAD	C O N C E P T O	UNITARIO	TOTAL
2.4	1,00	Ud. Suministro e instalación de conducto corrugado forroplast de 20 mm de diámetro para instalación empotrada, incluso p.p cajas de conexión, pequeño material y elementos para conexión. <i>Sobre 15 Mts.</i>	14,70	14,70
2.5	1,00	Ud. Suministro e instalación pica de puesta a tierra de 14 mm de diámetro y 4 metros de largo para la protección de la red de corriente alterna de la instalación, incluso registro según normativa, incluso p.p de pequeño material.	277,41	277,41
2.6	1,00	Ud. Suministro e instalación cable desnudo de 35 mm ² para creación de red de puesta a tierra garantizando la seguridad. <i>Sobre 20 Mts.</i>	165,22	165,22
TOTAL				1109,35
I.V.A 21%				232,9635
TOTAL OFERTA 01/2014				1.342,31 €

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- [1] <http://www.idae.es/index.php/mod.pags/mem.detalle/id.28/re/menu.46>
- [2] <http://www.bioenergysolar.com/index.php/es/funcionamientosolartermica.html>
- [3] <http://www.enrenovables.com/energia-solar-termica-de-alta-temperatura/>
- [4] http://www.mimacsolar.es/tubos_de_vacio
- [5] <http://cali-vac.megavisos.com.co/calor-de-proceso-solar-con-solarbeam-el-reflector-parabolico-iiid-56444>
- [6] <http://almez.pntic.mec.es/jrem0000/dpbg/2bch-ctma/tema11/HIDRAULICA08.swf>
- [7] <http://www.lanacion.com.ar/1174964-una-sinergia-entre-la-energia-hidraulica-y-eolica>
- [8] <http://tecnologia-cardones.wikispaces.com/4>
- [9] <http://es.enfsolar.com/>
- [10] <http://tutiendadeenergiasolar.com/tienda/42-bateria-tls-3-hawker-3-opzs-150-2v-240a-c-100.html>
- [11] http://www.enerpoint.it/fvprodotti/scheda_brochure_esp_.pdf
- [12] http://www.cne.es/cne/Publicaciones?id_nodo=143&accion=1&soloUltimo=si&sldCat=10&keword=&auditoria
- [13] www.asif.org
- [14] www.todosolar.com
- [15] www.idae.es
- [16] www.atersa.es
- [17] www.victron.es
- [17] www.steca.es
- [18] Javier García Breva; “Autoconsumo y pobreza energética”
- [19] Proyecto y cálculo de la instalación solar térmica GAT 17. Autores: Pilar Pereda Suquet y Aurelio Pérez Álvarez, 1997 COAM, Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid (3a Edición, 2009)
- [20] Manual de cálculo y diseño de instalaciones de producción de acs en edificios de viviendas con apoyo individual a gas natural.

- [21] Vicente Salas, Moisés Labarquilla: “Integración del autoconsumo fotovoltaico en sistemas híbridos con Diésel”
- [22] Vicente Salas: “Hibridación fotovoltaica aislada: configuraciones-topología”
- [23] Victron energy: “Autoconsumo o Independencia de red”
- [24] BOE 27/12/2013 Núm.310
- [25] Vicente Salas: “Sistemas de almacenamiento: Estado de la técnica”
- [26] Vicente Salas, Moisés Labarquilla: “Análisis de configuraciones de los sistemas fotovoltaicos híbridos2
- [27] Sedigas: “Guía sobre aplicaciones de energía solar térmica”
- [28] CIEMAT (Centro de Investigaciones energéticas, medioambientales y tecnológicas); Miguel Alonso Abella: “Sistemas fotovoltaicos”
- [29] Tesis doctoral Luis Alejandro Flores Oropeza: “Estudio y análisis de soluciones topológicas de convertidores cc-cc bidireccionales para su aplicación en vehículos híbridos”
- [30] Dr. Rodolfo Dufo López: “Manual iHoga”
- [31] Dr. Rodolfo Dufo López: “Guía de iniciación iHoga”
- [32] Pere Mir: Artículo: “La regulación fotovoltaica y solar termoelectrica en España”
- [33] Apuntes de clase de Julio Usaola
- [34] Apuntes desarrollados por Mónica Chinchilla
- [35] M. Alonso Abella, *Sistemas fotovoltaicos: Introducción al diseño y dimensionado de instalaciones de energía solar fotovoltaica*, Ed.AMV 2006